

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Návrh a ověření pracovní geometrie břitu VBD se zaměřením
na její trvanlivost**

**Proposal and Verification of Working Blade Geometry VBC
With a Focus**

Student:

Bc. Jiří Vítek

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Josef Brychta

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Jiří Vitek

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Téma:

Návrh a ověření pracovní geometrie břitu VBD se zaměřením na její
trvanlivost

Proposal and Verification of Working Blade Geometry VBC With a
Focus

Zásady pro vypracování:

1. Stručné seznámení s firmou a její historií.
2. Vývoj, konstrukce a výroba vyměnitelných břitových destiček.
3. Návrh metodiky ověřování trvanlivosti VBD.
4. Zpracování a vyhodnocení experimentálně získaných hodnot.
5. Ekonomické porovnání získaných výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] DUŠÁK, K. *Technologie montáže. Základy*. 1. vyd. Liberec : Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2005. 116 s. ISBN 80-7083-906-6.
- [4] HOFMANN, P. *Technologie montáže*. 1. vyd. Plzeň : Západočeská univerzita, 1997. 90 s. ISBN 80-7082-382-8.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr.Ing. Josef Brychta**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013





Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2013

Podpis studenta.....

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB - TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20.5.2013

Podpis studenta.....

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jiří Vít

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Krapkova 5

787 01 Šumperk

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	7
ÚVOD.....	9
1 STRUČNÉ SEZNÁMENÍ S FIRMOU A JEJÍ HISTORIÍ.....	10
1.1 HISTORIE A DNEŠEK	10
1.2 VÝVOJ A VÝZKUM	11
1.3 LOGISTIKA A OBCHOD	11
1.4 SORTIMENT	12
2 VÝVOJ, KONSTRUKCE A VÝROBA VBD	15
2.1 VOLBA TYPU NÁSTROJE A VBD	15
2.1.1 Upínací systém vyměnitelné břitové destičky.....	16
2.1.2 Velikost a typ držáku	18
2.1.3 Tvar vyměnitelné břitové destičky.....	19
2.1.4 Velikost vyměnitelné břitové destičky	20
2.1.5 Poloměr špičky	20
2.1.6 Typ a geometrie vyměnitelné břitové destičky	22
2.1.7 Řezný materiál	27
2.2 ROZDĚLENÍ ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ DLE ISO	30
2.3 SLINUTÉ KARBIDY	32
2.3.1 Povlakované slinuté karbidy	34
2.3.1.1 Metody povlakování	36
2.3.1.2 Vlastnosti povlaků	38
3 NÁVRH METODIKY OVĚŘOVÁNÍ TRVANLIVOSTI VBD	40
3.1 OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ	40
3.2 TYPY OPOTŘEBENÍ.....	42
3.3 MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ [8]	47
3.4 TRVANLIVOST A ŽIVOTNOST NÁSTROJE [8].....	50
4 ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNĚ ZÍSKANÝCH HODNOT	51
4.1 MATERIÁL VBD ŘADY T9325 [4]	51
4.1.1 T9325	52
4.2 ZKUŠEBNÍ TĚLESO	55
4.3 POUŽITÉ NÁSTROJE PRO EXPERIMENT	55
4.3.1 Nožový držák	55
4.3.2 VBD CNMD120412E-KR.....	56
4.4 POUŽITÉ STROJE A PŘÍSTROJE	56
4.5 ŘEZNÉ PODMÍNKY	58
4.6 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	59
4.6.1 Postup měření.....	59
4.7 VYHODNOCENÍ SNÍMKŮ.....	65
4.7.1 VBD CNMG 120412E-KR.....	65
4.7.2 VBD CNMG 120412E-KR-P01	67
4.7.3 VBD CNMG 120412E-KR-P02	70

4.7.4	VBD CNMG 120412E-KR-P03	73
5	EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ	77
5.1	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	81
ZÁVĚR		83
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		85
SEZNAM OBRÁZKŮ		87
SEZNAM PŘÍLOH.....		91
PODĚKOVÁNÍ.....		92

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VÍTEK, J. *Návrh a ověření pracovní geometrie břitu VBD se zaměřením na její trvanlivost*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 82 s. Vedoucí práce: Brychta, J.

Diplomová práce je zaměřena na trvanlivost VBD, která je ovlivněna různým typem zaoblení řezné hrany. V úvodu je představena historie a sortiment firmy Pramet Tools, s.r.o. Následně je popsána volba VBD a řezný materiál slinutý karbid. Dále jsou zmíněny typy opotřebení. Cílem této práce je určit, jaký vliv mají jednotlivé typy zaoblení řezné hrany na trvanlivost řezného nástroje. Dále se na základě získaných výsledků určilo nejvhodnější zaoblení a zpracovalo se ekonomické vyhodnocení.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

VÍTEK, J. *Proposal and Verification of Working Blade Geometry VBC With a Focus: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2013, 82 p. Thesis head: Brychta, J.

The master thesis is focused on the durability of VBC which is affected by different types of rounding cutting edge. The history and an assortment of the company Pramet tools s.r.o. are introduced at the beginning of this work. Consequently is described the selection of VBC and cutting material – sintered carbide. As next step are mentioned types of a wear. The objective of the Master Thesis is to identify the influence of each types of rounding cutting edge at the durability of the cutting tool. Eventually based on the obtained results is determined the most suitable rounding cutting edge and prepared the economic evaluation.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý	[-]
AlCl ₃	Chlorid hlinitý	[-]
A α	Hlavní hřbet nástroje	[-]
A α'	Vedlejší hřbet nástroje	[-]
A γ	Čelo nástroje	[-]
C	Uhlík	[-]
CNB, KNB	Kubický nitrit boru	[-]
Co	Kobalt	[-]
Cr	Chrom	[-]
Cr ₃ C ₂	Karbid chromu	[-]
CT	Konstanta	[-]
CV	Konstanta	[-]
CVD	Chemická metoda povlakování	[-]
ČSN	Česká státní norma	[-]
F	Síla řezání	[N]
F _c	řezná složka síly řezání	[N]
HB	Tvrdost podle Brinella	[-]
HRA	Tvrdost podle Rockwella	[-]
HV	Tvrdost podle Vickerse	[-]
ISO	Mezinárodní norma	[-]
K	Koeficient opotřebení	[-]
K	Řezivost	[-]
Mn	Mangan	[-]
Mo	Molybden	[-]
NbC	Karbid niobu	[-]
Ni	Nikl	[-]
NO	Nástrojová ocel	[-]
P	Fosfor	[-]
PKD	Diamant	[-]
Pr	Nástrojová rovina základní	[-]
PVD	Fyzikální metoda povlakování	[-]
Ra	Střední aritmetická odchylka profilu	[mm]
Rm	Mez pevnosti	[Mpa]
ŘK	Řezná keramika	[-]
S	Hlavní ostří nástroje	[-]
S	Síra	[-]
S'	Vedlejší ostří nástroje	[-]
Si	Křemík	[-]
Si ₃ N ₄	Nitrid křemíku	[-]
SK	Slinutý karbid	[-]
S α	Velikost smetení ze hřbetu	[mm]
S γ	Velikost smetení z čela	[μ m]
T	Trvanlivost nástroje	[min]
TaC	Karbid tantalu	[-]

TiAlN	Nitrid titanu a hliníku	[-]
TiC	Karbid titanu	[-]
TiCl ₄	Chlorid titaničitý	[-]
TiCN	Nitrid uhláku titanu	[-]
TiN	Nitrid titanu	[-]
VB	Opotřebení na hřbetě	[mm]
VBc	Opotřebení špičky	[mm]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
Vbmax	Maximální opotřebení	[mm]
VC	Karbid vanadu	[-]
WC	Karbid wolframu	[-]
ZrCl ₄	Chlorid zirkoničitý	[-]
a	Tloušťka odřezané vrstvy	[mm]
ap	Hloubka řezu	[mm]
ap	Šířka záběru	[mm]
b	Vzdálenost hrany žlábků od ostří	[mm]
f	Posuv	[mm]
f	Posuv	[mm]
fot	Posuv na otáčku	[mm.ot-1]
h	Hloubka žlábků	[mm]
la	Aktivní délka ostří	[mm]
re	Poloměr špičky	[mm]
vc	Řezná rychlost	[m.min-1]
x	Šířka fazetky	[mm]
αo	Nástrojový úhel hřbetu v rovině ortogonální	[°]
βo	Nástrojový úhel břitu v rovině ortogonální	[°]
γo	Úhel čela v rovině ortogonální	[°]
εr	Úhel špičky ostří	[°]
K	Úhel nastavení	[°]
Kr	Úhel nastavení hlavního ostří	[°]
Kr'	Úhel nastavení vedlejšího ostří	[°]
λs	Úhel sklonu hlavního ostří	[°]

ÚVOD

V dnešní době se kladou čím dál vyšší nároky na řezné nástroje. Splnění požadavků zákazníků a tím i udržení významné pozice na světovém trhu je, díky vzrůstající konkurenci, velice obtížné. Proto je nezbytné neustále vyvíjet a inovovat portfolio řezných nástrojů. Z tohoto důvodu firma Pramet Tools, s.r.o., sídlící v Šumperku, vyvinula zcela nové geometrie vyměnitelných břitových destiček.

Jedním z hlavních požadavků na řezné nástroje je delší doba práce během vyššího zatížení bez nutnosti výměny. Důvodem je snížení prostojů při výměně nástrojů nebo při jejich ostření. Nejpoužívanějším materiálem pro obráběcí nástroje jsou slinuté karbidy, které se vyrábí v podobě vyměnitelných břitových destiček, jejichž vývojem, výrovou a prodejem se zabývá právě firma Pramet Tools.

Tato diplomová práce se zabývá trvanlivostí vyměnitelných břitových destiček. Testuje se vliv zaoblení řezné hrany na trvanlivost jednotlivých destiček. Jedná se o destičky typu CNMG120412E s KR utvařečem, které byly vyrobeny ze zcela nového materiálu T9325. Tento materiál uvedla firma Pramet Tools na trh teprve v dubnu roku 2013. To, co dělá nově představený materiál lepší ve srovnání s původní generací, jsou nové substráty a rovněž nově vyvinuté MT-CVD povlaky.

Zaoblení řezné hrany má klíčový vliv na životnost a trvanlivost destičky. Zaoblení se provádí na stroji Sinjet pomocí kartáčů. V dnešní době se používá několik druhů kartáčů, v závislosti na velikosti zaoblení. Ta závisí na tom, k jaké technologické operaci je destička určena.

Díky novým poznatkům lze dosáhnout, pomocí vyměnitelných břitových destiček ze slinutého karbidu, vyšší efektivity a hospodárnosti výroby.

1 STRUČNÉ SEZNÁMENÍ S FIRMOU A JEJÍ HISTORIÍ

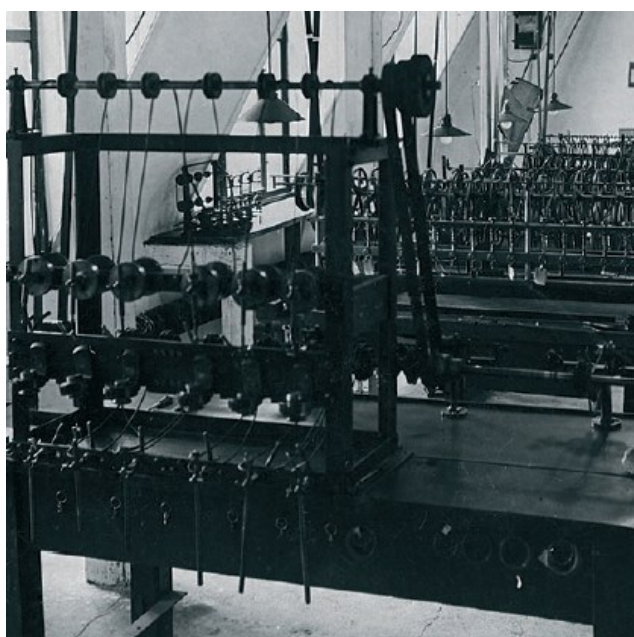


Obr. 1 Pramet Tools, s.r.o. [1]

Firma Pramet Tools, s.r.o. se zabývá vývojem, výrobou a prodejem obráběcích nástrojů ze slinutého karbidu. Veškeré produkty jsou vyrobeny na území České republiky, ale prodávány jsou prostřednictvím vlastních poboček a také pomocí smluvních partnerů po celém světě. [2]

1.1 Historie a dnešek

Tradiční výroba slinutých karbidů, z které vychází výroba Pramet Tools, se datuje od 30. Století. V Šumperku byla zahájena výroba dílů ze slinutého karbidu a řezných nástrojů osazených slinutým karbidem v roce 1951. Firma neustále drží významnou pozici ve svém oboru nejen na domácím území, ale získává stále větší uplatnění v náročných mezinárodních trzích. To vše díky více než 60leté tradici a zkušenostem ve výrobě slinutého karbidu, reprodukovatelnosti kvality materiálu a kontinuálnímu výzkumu i vývoji. [2]



Obr. 2 Historický snímek firmy Pramet Tools [2]

V roce 1999 začalo nové období společnosti, kdy došlo k propojení s finančně silným partnerem. Došlo ke kompletní modernizaci výroby vyměnitelných břitových destiček, zvýšení výzkumných a vývojových aktivit. Následně Pramet Tools představil zcela nové materiály a nový sortiment. Posílilo se oddělení logistiky a obchodně-technického servisu. Začala se postupně rozšiřovat síť obchodních poboček. Byly založeny pobočky v Polsku a Itálii. V dnešní době Pramet Tools působí na čtyřech kontinentech a prodává své produkty do více než 50 zemí světa. [2]



Obr. 3 Síť poboček firmy Pramet Tools, s.r.o. [2]

1.2 Vývoj a výzkum

V roce 2000 firma zdokonalila celý výrobní sortiment nástrojů pro třískové obrábění. Nejednalo se jen o vývoj nových materiálů, ale také i nových tvarů a geometrií nástrojů. Navíc byly také inovovány materiály pro tvářecí a lisovací nástroje ze slinutých karbidů. [2]

1.3 Logistika a obchod

Díky svému rozšíření logistiky a také výborné organizaci dopravy a řízení skladů je možné plnit požadavky zákazníků v nejkratší době. Firma zaručuje dodání sortimentu do 24 hodin v ČR, Slovensku, Polsku, Maďarsku a Německu. Pramet Tools poskytuje ke svým výrobkům i technické poradenství prostřednictvím sítě obchodních poboček a smluvních distributorských sítí. [2]

1.4 Sortiment

Firma Pramet Tools nabízí velkou škálu nástrojů pro všechny druhy třískového obrábění. Každým rokem se tato škála zvětšuje o stovky nových nástrojů pro frézování, soustružení a vrtání. [2]



Obr. 4 Sortiment firmy [2]

Vyměnitelné břitové destičky

Pramet Tools nabízí nemalý výběr vyměnitelných břitových destiček pro veškeré operace obrábění jako je soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání a speciální operace. [2]



Obr. 5 Typy VBD [3]

Nástroje pro soustružení

Při obrábění součástí od průměru několika milimetrů až po několik metrů je zajištěna řada nástrojů a vyměnitelných břitových destiček. Velký výběr nástrojů vyjde vstříc každým požadavkům zákazníka. Veškeré nástroje jsou vyrobeny díky nejmodernějším technologiím, které zajišťují vysokou kvalitu i spolehlivost. [2]



Obr. 6 Soustružnický nůž [4]

Výrobní sortiment zahrnuje vyměnitelné břitové destičky, které zahrnují řešení pro všechny běžné operace soustružení (vnější a vnitřní), upichování a zapichování, soustružení závitů. Velkou výhodou Pramet je špičkové řešení v oblasti těžkého soustružení.

Nástroje pro frézování

Pramet Tools se chlubí výkonnými nástroji pro veškeré druhy frézování a to jak drobných obrobků, tak i velkých součástí, které vyžadují opravdu velké nástroje. Každým rokem se uvádí na trh nové frézy s vyměnitelnými destičkami, které vyhovují požadavkům moderního obrábění. K dispozici jsou vyměnitelné břitové destičky s možností výběru velkého množství různých materiálů a geometrií. Nabízené nástroje pro frézování: rovinné frézy, stopkové frézy, kopírovací frézy, válcové frézy, kotoučové frézy a monolitní tvrdokovové frézy. [2]



Obr. 7 Fréza s VBD [2]

Nástroje pro vrtání

Aby Pramet dosáhl větší tuhosti nástroje, vyvinul nástroje pro vrtání s vyměnitelnými břitovými destičkami, na kterých upravil konstrukci. Mezi velmi produktivní nástroje rozhodně patří zbrusu nové monolitní vrtáky, které vrtají kvalitně a zároveň s nízkými náklady. [2]

Pomocí destičkových vrtáků je možné vrtat otvory ve velkém rozsahu průměrů pro hloubky vrtání 2D až 5D. Vrtáky je možné použít jako rotační, tak i jako stacionární nástroj a mohou pracovat i mimo osu. Pracují spolehlivě i v nestabilních podmínkách přerušovaného řezu. [2]



Obr. 8 Vrtáky s VBD [5]

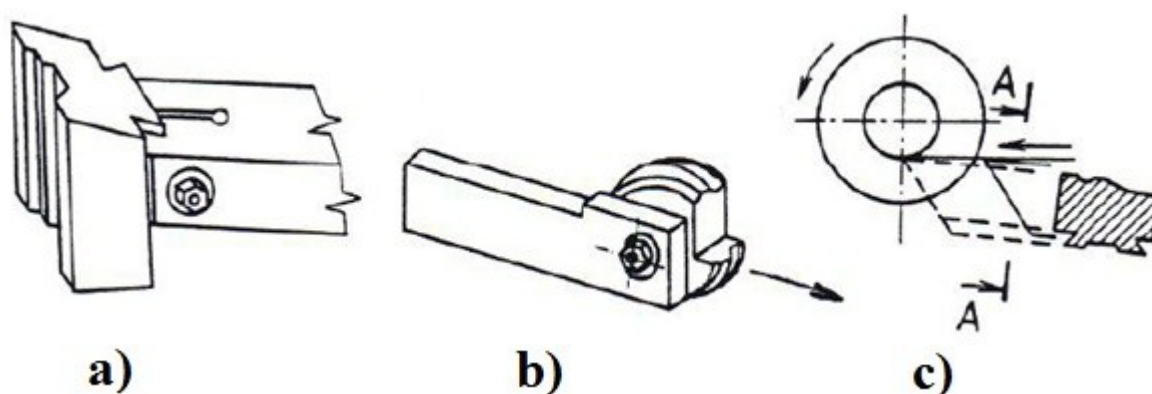
2 VÝVOJ, KONSTRUKCE A VÝROBA VBD

Soustružení je obrábění pomocí jednobřitého nástroje, který je zpravidla pevný, zatím co obrobek rotuje. Jedná se o nejjednodušší, ale také nejpoužívanější druh obrábění kovů. Z tohoto důvodu je potřeba jej neustále vyvíjet. [16]

Jako nejpoužívanější nástroje pro obrábění jsou soustružnické nože, které mají jednoduché tvary, nízkou cenu a jsou jednoduché na údržbu. Základní součást soustružnických nástrojů je tvar řezného klínu, materiál řezné části a průřez tělesa nástroje. [16]

Dělení soustružnických nožů z technologického hlediska:

- Radiální
- Prizmatické
- Kotoučové
- Tangenciální



Obr. 9 Tvarové soustružnické nože a)prizmatické, b)kotoučové, c)tangenciální [16]

Radiální soustružnické nože se řadí mezi nejpoužívanější skupiny nástrojů a dělí se na:

- Celistvé, kdy se jedná o jeden celek, který je vyroben z nástrojové nebo rychlořezné oceli
- S pájenými břitovými destičkami, které jsou vyrobeny z řezného materiálu a pomocí tvrdé pájky jsou připájeny na těleso nože (do lůžka)
- S vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD), kdy je destička mechanicky upnuta v držáku z konstrukční oceli pomocí systémů upínání ISO

2.1 Volba typu nástroje a VBD

Podstatou soustružnických nožů s vyměnitelnými břitovými destičkami je mechanické upínání do nožového držáku, jehož cílem je, aby se pevnost upínacího spojení blížila pevnosti dosažené u pájených břitových destiček.

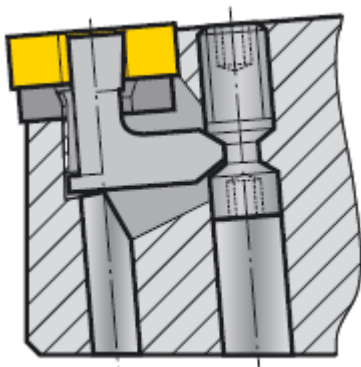
Před samostatným procesem obrábění soustružnickými noži musí být vybrány určité komponenty, přitom se osvědčil následující postup. [9]

1. Upínací systém vyměnitelné břitové destičky
2. Velikost a typ držáku
3. Tvar vyměnitelné břitové destičky
4. Velikost vyměnitelné břitové destičky
5. Poloměr špičky
6. Typ a geometrie vyměnitelné břitové destičky
7. Řezný materiál
8. Řezné podmínky

2.1.1 Upínací systém vyměnitelné břitové destičky

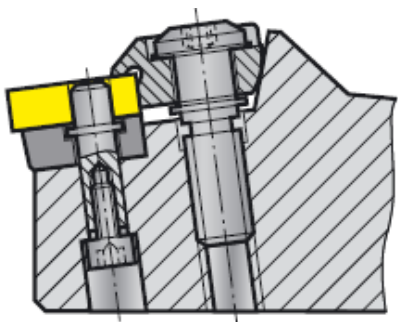
Při volbě správné vyměnitelné destičky by měl být nejprve zvolen upínací systém. Držáky jsou konstruovány tak, aby s nimi bylo možné dosáhnout optimálního výkonu za různých okolností, obvykle v celé šíři oblasti jejich použití. Správnou volbu upínacího systému určuje druh operace a také i velikost obrobku. Je zřejmé, že hrubování velkých obrobků má jiné požadavky na upínací systém, než obrábění drobných součástek načisto. [9]

ISO P



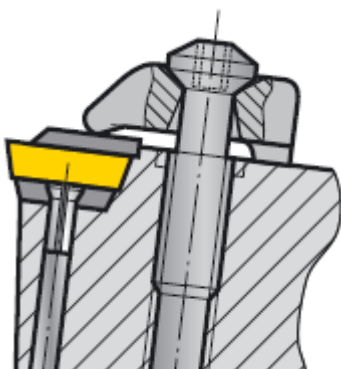
Tento upínací systém je určen pro upínání negativních destiček s válcovým otvorem s utvařeči i bez nich. Pro upnutí destičky slouží úhlová páka, která po utáhnutí do-tlačí destičku do lůžka v držáku. Tímto systémem upnutí držáky zajišťují spolehlivé a přesné upnutí VBD. Nejčastěji se používá pro vnější soustružnické operace dokončovací, ale i hrubovací. Méně se tento způsob využívá pro vnitřní soustružení otvorů větších průměrů. [5]

Obr. 10 Upínací systém ISO P [5]

ISO M

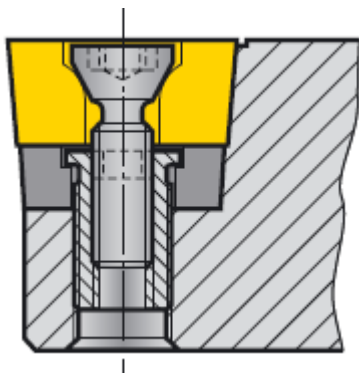
Obr. 11 Upínací systém ISO M [5]

Pomocí tohoto způsobu se upínají VBD stejného typu jako u systému ISO P. Na rozdíl od ISO P je destička nasazena na pevný čep a k němu se dotlačuje pomocí upínky, která současně zpevňuje destičku shora. Tento způsob upínání je vhodný především pro držáky, které mají zvýšené dynamické namáhání. Tyto držáky se nejčastěji používají pro vnější soustružení. [5]

ISO C

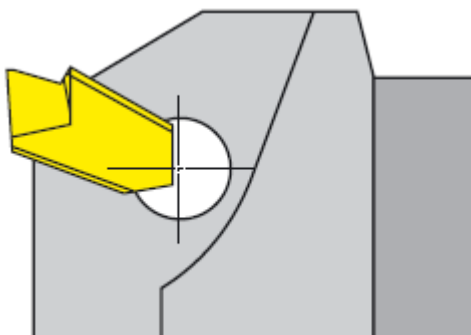
Obr. 12 Upínací systém ISO C [5]

Pro upínání negativních i pozitivních destiček bez otvoru a to s utvařeči (předlisované, vybrušované a přiložené) tak bez nich slouží právě systém ISO C. Upínka, která je dotahována šroubem, upevňuje destičku v lůžku. U některých typů destiček se pod upínku vkládá ještě příložný utvařeč. Tento systém upínání se používá pro vnější i vnitřní obrábění. V současné době je ovšem tento systém, pro vnější soustružení, nahrazován systémem S. [5]

ISO S

Obr. 13 Upínací systém ISO S [5]

Tento systém upínání se používá zejména u nožů menších průřezů těles, které jsou určeny pro vnější i vnitřní soustružení. Destička je upnuta pomocí speciálního šroubu, který prochází kuželovým otvorem a jeho dotažením se destička upevní v lůžku držáku. Základní výhodou tohoto upnutí je, že není žádná překážka pro odchod třísky. [5]

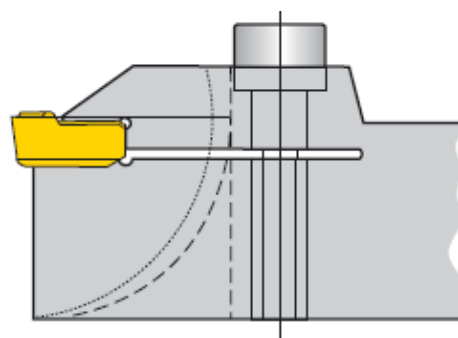
ISO X

Obr. 14 Upínací systém ISO X [5]

Neboli tzv. Speciální systém upnutí. Jsou to nožové držáky, které upínají destičky do lůžka pomocí řezné síly. Používá se výhradně pro nástroje určené pro upichování a zapichování. [5]

ISO G

Nejčastěji se tento systém používá u nožů určené pro zapichování nebo pro kopírovací soustružení (systém CTP). Upínka, která shora dotlačuje destičku do lůžka, zaručuje fixaci destičky. Dosedací plocha v držáku, v upínce i v destičce je profilována speciálně tak, aby se destička nevyvrátila, čemuž může napomáhat posuvová složka řezné síly.[5]



Obr. 15 Upínací systém ISO G [5]

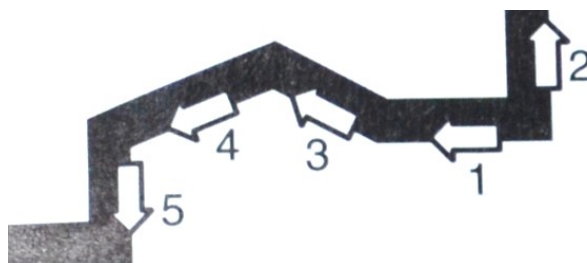
2.1.2 Velikost a typ držáku

Volba vhodného držáku, pro určený upínací systém vyměnitelné břitové destičky, je ovlivněna směrem posuvu, řeznými podmínkami, upnutí obrobku a nástroje ve stroji. Dále je důležité brát v úvahu přístup k nástroji. [9]

Při soustružení složitějších tvarů složenými operacemi je vhodné je rozdělit na jednotlivé operace, aby se mohl zvolit nejvhodnější typ držáku.

Dílčí operace obrábění:

- 1) Podélné soustružení
- 2) Čelní soustružení
- 3) Kopírování do materiálu
- 4) Kopírování směrem z materiálu
- 5) Čelní soustružení ve směru do osy k povrchu obrobku



Obr. 16 Dílčí operace obrábění [9]

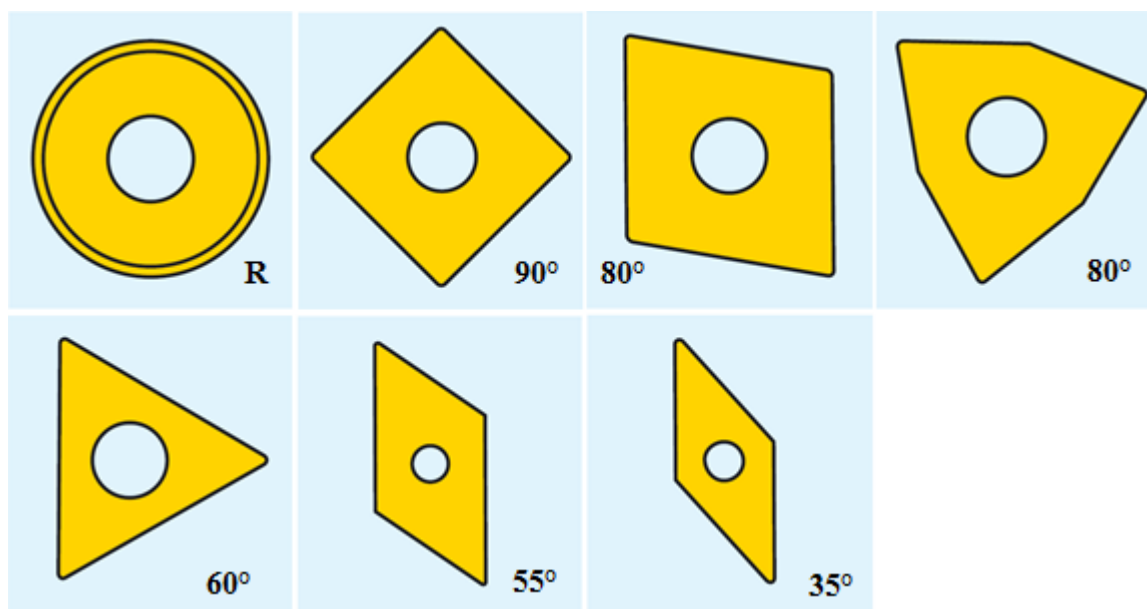
Pro snížení počtu použitých typů nástrojů je nutné ověřit, jaké možnosti obrábění jsou k dispozici. Typy držáků se určují

pomocí úhlu nastavení a úhlu špičky, které jsou stanoveny tvarem vyměnitelné břitové destičky.

Základním pravidlem při volbě vhodného držáku je zvolit držák co největší, který jde na daném stroji upnout. Důvodem je zmenšení poměrného vyložení nože a získání nejvyšší možné tuhosti ve prospěch stability břitu. Aktivní délka ostří se určuje na základě velikosti vyměnitelné břitové destičky, které by měla odpovídat i velikost držáku. Úhel nastavení hlavního ostří by měl být zvolen co nejmenší, který je možný použít s ohledem na obrábění. [9]

2.1.3 Tvar vyměnitelné břitové destičky

Tvar vyměnitelné břitové destičky by měl odpovídat úhlu nastavení hlavního ostří a přístupnosti nože. Volíme takovou vyměnitelnou břitovou destičku, která má větší úhel špičky, z důvodu stability a hospodárnosti. Při použití menšího úhlu špičky docílíme větší univerzálnosti, ale na úkor stabilitě. Tudíž je zřejmé, že při použití většího úhlu špičky se zvyšuje stabilita břitu, nýbrž použití menšího úhlu špičky nám umožní lepší přístupnost a mnohostrannější použití. Dále při větším úhlu špičky je větší možnost vzniku vibrací a menší úhel nám umožní snížit potřebný výkon. [9]



Obr. 17 Příklady nejužívanějších úhlů špičky [5]

2.1.4 Velikost vyměnitelné břitové destičky

Tvar a velikost vyměnitelné břitové destičky byl stanoven tím, že byla zvolena velikost držáku s lůžkem pro speciální tvar a pro velikost vyměnitelné břitové destičky. Při volbě velikosti vyměnitelné břitové destičky musíme dbát především na největší hloubku řezu. Dále musí být určena aktivní délka ostří (l_a), která při úhlu hlavního ostří 90° odpovídá přesné hloubce řezu. Je-li úhel hlavního ostří 45° , pak hloubka řezu je jeden a půlkrát menší než aktivní délka ostří. [9]

Poměr závislostí mezi úhlem nastavení hlavního ostří, hloubkou řezu a aktivní délkou ostří vysvětluje Tab. 1.

Tab. 1 Úhel nastavení hlavního ostří, hloubka řezu a aktivní délka ostří [9]

K	ap										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
	la										
90	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
75	1,5	2,1	3,1	4,1	5,2	6,2	7,3	8,3	9,3	11	16
60	1,2	2,3	3,5	4,7	5,8	7	8,2	9,3	11	12	18
45	1,4	2,9	4,3	5,7	7,1	8,5	10	12	13	15	22
30	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
15	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	58

Při volbě vyměnitelné břitové destičky je potřeba brát zřetel na dva různé faktory, které si navzájem odporují. Spolehlivost obrábění a náklady. Velké vyměnitelné břitové destičky s větší tloušťkou zaručují větší spolehlivost břitu, ovšem na úkor jejich ceně. Dražší vyměnitelné břitové destičky jsou nejvhodnější pro hrubovací operace nebo při obrábění přerušovaným řezem. Zejména pro jejich větší velikost a tloušťku zaručující větší spolehlivost břitu. [9]

2.1.5 Poloměr špičky

Pro stabilitu při hrubování a pro stav povrchu při obrábění načisto je hlavním faktorem velikost špičky vyměnitelné břitové destičky. Ta dále ovlivňuje rychlost posuvu a chování nástroje při vibracích. Má podstatný vliv na výsledek obrábění, protože tvoří přechod mezi hlavním a vedlejším ostřím. [9]

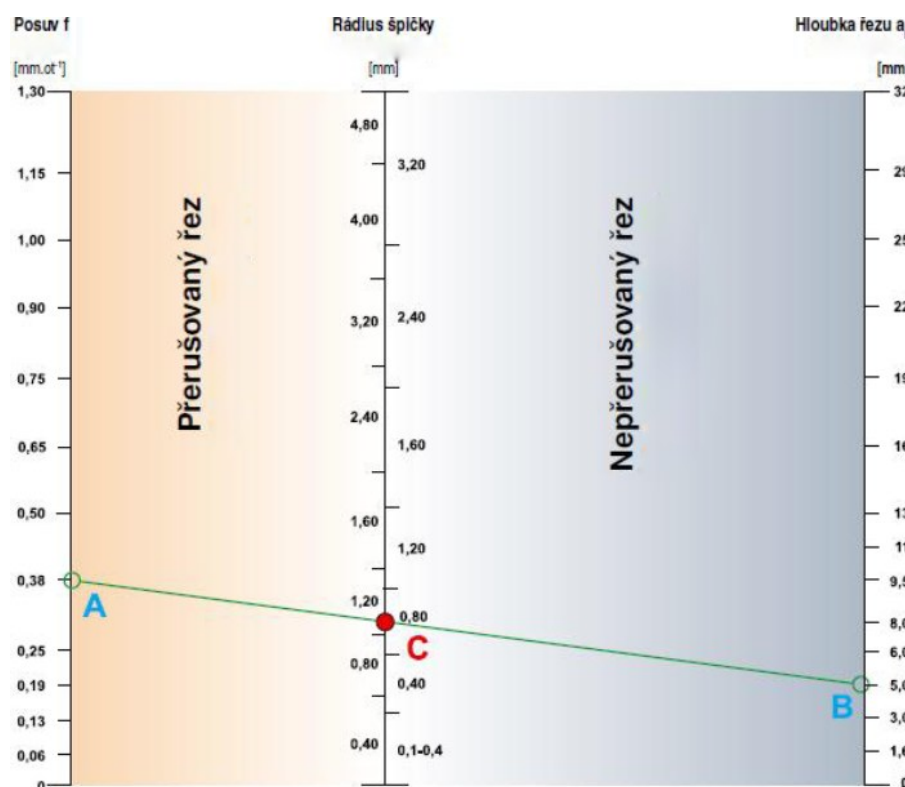
Větší poloměr špičky umožňuje vyšší rychlosti posuvu, ty mají ovšem za následek vznik vibrací. Vyměnitelné břitové destičky se vyrábějí s velkým množstvím různých poloměrů špičky, kde pro hrubování jsou nejpoužívanější poloměry 1,2 až 2,4 mm.

Tabulka pro stanovení velikosti posuvu pro hrubovací operace, kde jsou uvedeny maximální hodnoty s doporučenými rozsahy posuvů pro nejběžnější poloměry špiček. Je pravidlo, podle kterého se určuje hodnota posuvu na otáčku při hrubování přibližně polovinu velikosti poloměru špičky.

Tab. 2 Maximální hodnoty zaoblení špičky s doporučenými rozsahy posuvů [9]

r_ϵ	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4
f	0,12-0,25	0,25-0,5	0,36-0,7	0,5-1,0	0,7-1,6

Dále je možné pro volbu správného rádiusu vyměnitelné břitové destičky použít následný monogram. Kde je naznačen příklad, kdy při zvolené velikosti posuvu (Bod A) při němž bude daná VBD pracovat a pro zvolenou hloubku řezu (Bod B) a na střední ose byla odečtena velikost rádiusu špičky a to s ohledem zda se jedná o přerušovaný nebo kontinuální řez (Bod C) [5]



Obr. 18 Monogram pro volbu rádiusu VBD [5]

Při soustružení načisto vykonává špička břitu největší podíl práce a společně s rychlostí posuvu určuje stav a jakost obrobeného povrchu. Při volbě posuvu, na základě poloměru špičky, by neměla být přesažena hodnota, nutná k docílení uspokojivé jakosti obrobeného povrchu. Z pravidla se doporučuje hodnota posuvu maximálně $1/3$ poloměru špičky. [9]

2.1.6 Typ a geometrie vyměnitelné břitové destičky

Pro velkou škálu úkolů v obrábění byl vyvinut velký počet typů vyměnitelných břitových destiček, které mají charakteristické znaky v podobě geometrie břitu. Velmi odlišné požadavky na břit určují nejrozumnější řezné podmínky a druhy řezných materiálů.

Po určení tvaru vyměnitelné břitové destičky společně s úhlem nastavení hlavního ostří a velikosti poloměru špičky se určí typ geometrie břitu.

Jako hlavními faktory pro určení správné geometrie břitu jsou pracovní oblast a materiál obrobku. Dále volbu ovlivňuje stav stroje, výkon, stabilita upnutí, obrábění kontinuálním nebo přerušovaným řezem a sklon k vibracím.

Pomocí určité pracovní oblasti obrábění se opracovávají materiály a obrobky na přesný rozměr a specifickou jakost povrchu. Požadovanou geometrii břitu stanovíme na základě zvoleného posuvu (f) a hloubky řezu (a_p) v rámci pracovní oblasti. [9]

Materiál obrobku je dalším faktorem, který ovlivňuje volbu geometrie břitu. Šest hlavních skupin materiálů obrobku:

- 1) Materiály tvořící dlouhou třísku – k nimž patří většina ocelí
- 2) Korozivzdorné oceli
- 3) Materiály tvořící krátkou třísku – například šedá litina
- 4) Žáropevné slitiny
- 5) Měkké materiály, jako slitiny hliníku
- 6) Tvrdé materiály, například tvrdé druhy litiny (tvrdost větší než 400 HB)

Jako další faktory, které ovlivňují volbu vyměnitelných břitových destiček, které se týkají podmínek obrábění, lze počítat:

- 7) Přerušovaný řez
- 8) Sklon k vibracím
- 9) Omezený hnací výkon obráběcího stroje

Geometrie obráběcích nástrojů

Geometrie řezného nástroje nejvíce ovlivňuje velikost síly řezání a její rozložení do jednotlivých složek, utváření a odvod třísky, drsnost, přesnost a kvalitu obrobku. Aby se minimalizovali ztráty, je nutná dokonalá znalost vhodné pracovní geometrie břitu a jejího vlivu na proces obrábění. [8]

V příslušných rovinách jsou definovány úhly, které charakterizují nástrojové i geometrické parametry. Pro jasné určení úhlů řezné části se definují dvě souřadnicové soustavy:

- Nástrojová – na této rovině se přesně určí řezné části ve statickém pojetí. Použije se především při konstrukci, výrobě, kontrole a ostření nástroje. V této rovině se nachází roviny nástrojové
- Pracovní – V této rovině se nachází roviny pracovní a značí se stejně jako roviny nástrojové, pouze s přidáním indexu e . Identifikuje se zde geometrie v procesu řezání. Tato soustava se také nazývá efektivní nebo kinetická.

V dnešní době se používá pro hodnocení geometrického uspořádání ploch na nástrojích mezinárodní norma – ČSN 22 001, ISO 3002/1-77. Tato norma využívá pravoúhlý souřadnicový systém k definici jednotlivých souřadnicových rovin ve vztahu k základní rovině a jednotlivým plochám na nástroji. [8]

Čelo A_γ je plocha nebo souhrn ploch, po které odchází tříska.

Utvařeč třísky je část čelní plochy, která slouží k lámání nebo svinování třísky. To se uskutečňuje pomocí vhodně tvarovaného čela, nebo přiloženým utvařečem.

Hřbet (A_α , A_α') je plocha nebo souhrn ploch, které při řezném procesu směřují k ploše obrobku. Pokud hřbet tvoří několik protínajících se ploch, potom se v označení připsuje k indexu pořadové číslo, které je ve směru od ostří (např. $A_{\alpha 1}$, $A_{\alpha 2}$). K přechodové ploše obrobku směřuje hlavní hřbet A_α , kdežto vedlejší hřbet A_α' směřuje k obrobené ploše obrobku.

Ostří je prvek řezné části nástroje a uskutečňuje proces řezání.

Hlavní ostří S je část ostří, pomocí které se vytváří přechodová plocha na obrobku a začíná v bodě, kde nástrojový úhel nastavení hlavního ostří κ_r je roven nule. V případě, kdy hodnota κ_r není nulová v žádném bodě, je celé ostří hlavním ostřím. Hlavní ostří začíná na špičce pouze tehdy, má-li nástroj tuto špičku ostrou.

Vedlejší ostří S' je část ostří, kdy nástrojový úhel nastavení ostří κ_r je roven nule, ale pouze ve směru od hlavního ostří. Pomocí vedlejšího ostří se provádí dokončovací práce na obrobené ploše, ale nepodílí se na vytváření přechodové plochy. Například upichovací nože mohou mít několik vedlejších ostří.

Pracovní hlavní ostří S_e je část ostří, která začíná v bodě, kde se pracovní úhel nastavení κ_{re} rovná nule a která má sloužit pro vytváření přechodové plochy na obrobku. Má-li nástroj ostrou špičku, pak na této špičce začíná pracovní hlavní ostří. V případě, že hodnota κ_{re} není nulová v žádném bodě, je celé ostří pracovním hlavním ostřím. Ke změně geometrie řezného nástroje dochází důsledkem změny polohy roviny základní k efektivní řezné rychlosti. Pracovní rovina se vytváří pomocí vektoru výsledného pohybu a jsou k ní vztaženy úhly nástroje při procesu obrábění. Tyto úhly jsou označovány jako úhly pracovní, efektivní a mění se podle nastavení břitu nástroje vzhledem k obrobku, nebo podle natočení základní roviny P_r v důsledku uvažování posuvové složky pohybu. [8]

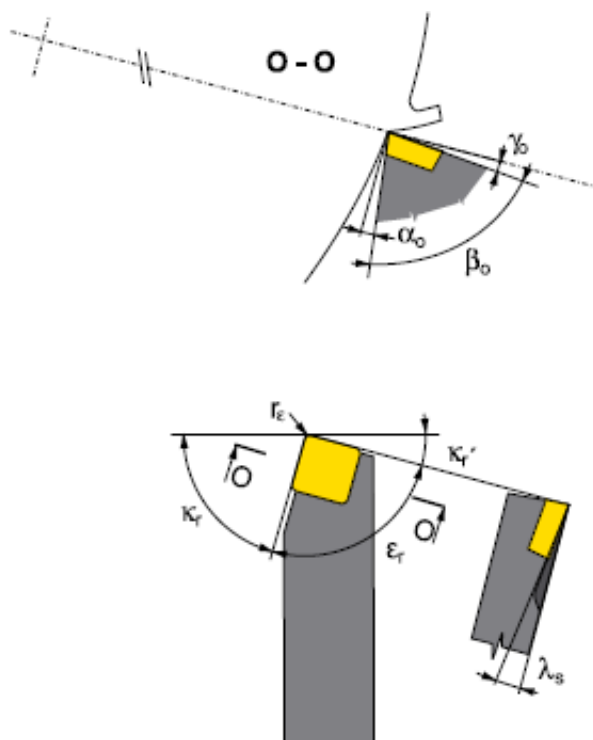
Faktory, které nejvíce ovlivňují volbu nástrojových úhlů, jsou:

- Fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu
- Vlastnosti nástrojového materiálu
- Řezné podmínky
- Požadovaná struktura povrchu obrobku
- Požadované vlastnosti povrchové vrstvy obrobené plochy

Nástrojové úhly nastavení ostří κ_r , κ_r' ovlivňují tvar třísky, strukturu povrchu obrobku (zejména κ_r') a složky řezné síly (κ_r , např. poměr posuvové a pasivní síly $F_f:F_p$ při soustružení).

Velikost úhlu κ_r se pohybují v rozmezí 0° - 90° . Běžně se používá 45° - 90° a u kopírovacích a vnitřních soustružnických nožů až 98° . Hodnoty nástrojového úhlu nastavení vedlejšího ostří κ_r' závisí na úhlech κ_r a ϵ_r .

Nástrojový úhel sklonu hlavního ostří λ_s má značný vliv na tuhost břitu a zatížení špičky nástroje. Nejvíce ovlivňuje první kontakt břitu s obráběným materiálem a směr odchodu třísky z místa řezu (při $+\lambda_s$ odchází tříska směrem od obrobku, kdežto při $-\lambda_s$ tříska odchází směrem k obrobku). Kladné hodnoty se volí při obrábění měkkých a méně pevných materiálů a záporné hodnoty naopak při obrábění tvrdých a pevnějších materiálů a hodnoty se zpravidla pohybují v rozsahu -6° až $+6^\circ$, extrémně až v rozsahu -40° až $+20^\circ$. [8]



Obr. 19 Úhly nástroje [3]

Nástrojový ortogonální úhel čela γ_o nejvíce ovlivňuje mechanismus tvorby třísky a následně její odchod z místa řezu. Řezné síly (menší hodnota γ_o znamená intenzivnější přechování třísky i větší F_c). Tuhost břitu (menší hodnota γ_o znamená, že se zvětší β_o a tím se zvýší tuhost). Velikosti úhlů γ_o se zpravidla pohybují v rozsahu -8° až $+8^\circ$, extrémně až v rozsahu -20° až $+40^\circ$. $\gamma_o > 0$ se volí pro materiály s pevností v tahu $R_m < 850$ Mpa a $\gamma_o < 0$ se volí pro materiály $R_m > 850$ Mpa

Nástrojový ortogonální úhel hřbetu α_o nejvíce ovlivňuje tření na hřbetě a tuhost břitu. Velikosti úhlů α_o se zpravidla pohybují v rozsahu 8° až 12° , extrémně až v rozsahu 3° až 25° . Pro pevnější obrábění materiály s malou tloušťkou třísky, s nízkými posuvy a vyššími řeznými rychlostmi se doporučují větší hodnoty α_o . Extrémně vysoké hodnoty α_o jsou určeny pro obrábění slitin hliníku.

Nástrojový ortogonální úhel břitu β_o nejvíce ovlivňuje tuhost břitu. Hodnoty se pohybují v rozsahu 40° až 100° . Malé hodnoty jsou vhodné pro obrábění materiálů s nižší pevností, velké naopak pro materiály s vysokou pevností. [8]

Poloměr zaoblení špičky r_e se zpravidla nachází v rozsahu $0,2 - 5,0$ mm. Pro vyšší hodnoty posuvů se používají větší hodnoty poloměru zaoblení, zvyšují trvanlivost nástroje,

ale zvětšují pasivní sílu F_p . Poloměr zaoblení špičky také výrazně ovlivňuje strukturu povrchu obrobku.

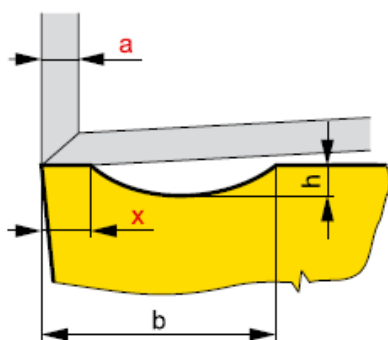
Geometrie břitu při soustružení

Pro určitou oblast použití, ve které jsou utvářeny třísky a stabilita břitu v přijatelných hodnotách, je přiřazena určitá geometrie břitu. Řezný materiál v kombinaci správné geometrie břitu zajišťuje použitelnost břitu pro četné varianty obrábění.

Tvar odebírané třísky je závislý těchto faktorech:

- Vlastnosti, pevnost, houževnatost a struktura obráběného materiálu
- Vlastnosti řezného materiálu (zejména jeho třecí vlastnosti na čele)
- Statické a dynamické vlastnosti obráběcího stroje
- Řezné podmínky
- Druh utvařeče třísky

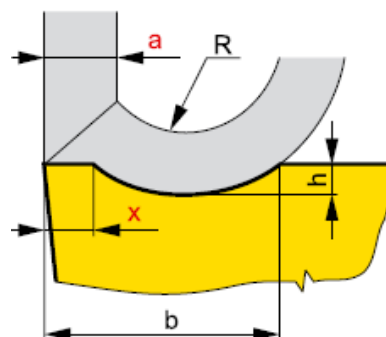
Určitý typ utvařeče láme třísku (utváří) pouze v určitém rozmezí posuvu a hloubky řezu. Utvařeč začíná fungovat při minimálním posuvu závislým především na šířce stabilizační fazetky (x) a na jejím úhlu. Maximální posuv, při kterém končí funkce utvařeče je závislý na vzdálenosti výstupní hrany žlábků od ostří (b) a na hloubce žlábků (h). [5]



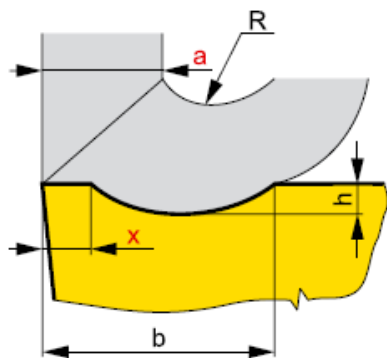
Obr. 20 Utvařeč [5]

Použije-li se vyšší posuv (větší tloušťka odebírané vrstvy), kdy šířka fazetky je menší než právě tloušťka odebírané vrstvy potom třísky vniká do utvařeče a je jím utvářena pod poloměrem R . [5]

Třísky nemůže vniknout do utvařeče. To jen díky tomu, že je tloušťka odřezávané vrstvy (a) poněkud menší než šířka fazetky, proto dochází ke kontaktu třísky jen na fazetce a tím pádem nemůže být třísky utvářena. [5]



Obr. 21 Utvařeč [5]



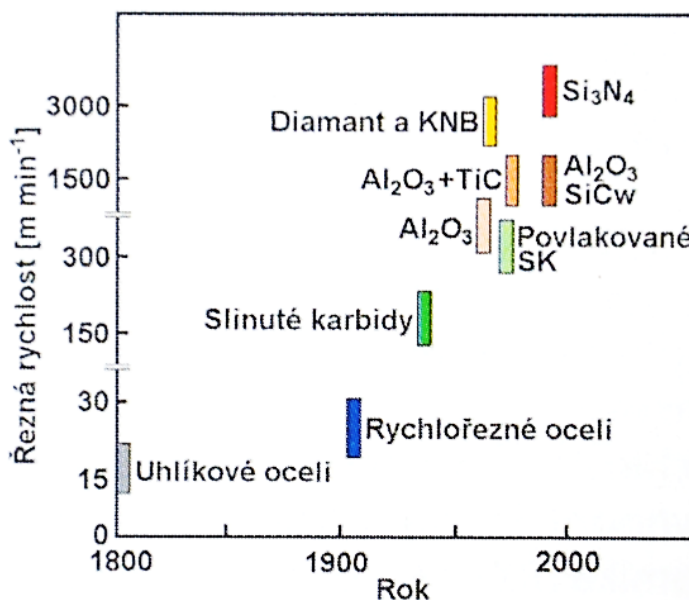
Obr. 22 Utvařec [5]

Pokud je šířka fazetky mnohokrát menší než tloušťka odebírané vrstvy, dochází nejprve k příliš tvrdému (nadměrnému) utváření (drcení) a při dalším zvyšování posuvu již tříska mívá utvařec aniž by byl ovlivněn její tvar (utváření neprobíhá). [5]

2.1.7 Řezný materiál

Řezný materiál má pro funkci břitu velký význam. Výrobci v dnešní době přikládají nejvyšší priority vývoji řezných materiálů a následně výrobních technologií. Důvodem je narůstající konkurence výrobců a zvyšující se požadavky zákazníků. Proto dochází k neustálému zlepšování řezných materiálů. [5]

Správná volba řezného materiálu nám nejvíce ovlivňuje jak produktivitu, tak i výrobní náklady a kvalitu výroby. Při obrábění je řezný materiál vystaven intenzivnímu mechanickému a tepelnému namáhání, které vede k otupení břitu nebo dokonce i k celkové destrukci. [8] Proto je důležité, aby si řezný materiál zachoval při vysokých teplotách řezání mechanické vlastnosti, zvláště pak tvrdost, která ovlivňuje odolnost proti opotřebení. Mezi další důležité mechanické vlastnosti patří odolnost vůči tepelnému šoku, tepelná roztažnost a tepelná vodivost. Aby mohl řezný klín vniknout do obráběného materiálu, musí mít řezný materiál větší tvrdost, než materiál obráběný. [6] [8]

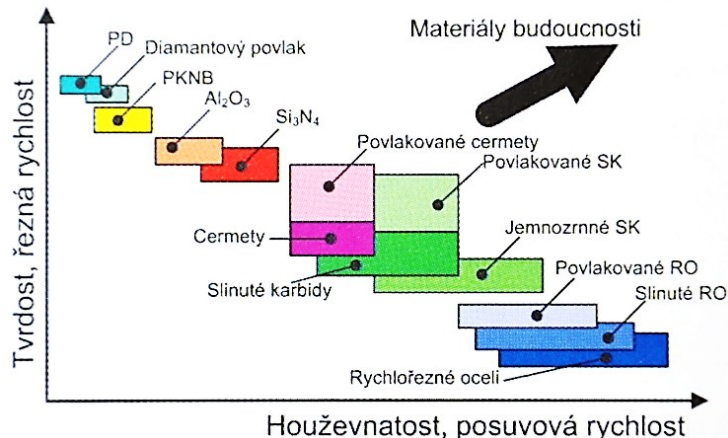


Obr. 23 Historický vývoj řezných rychlostí [6]

Tři hlavní vlastnosti řezného materiálu, které mají největší význam pro řezné rychlosti a posuvy jsou: odolnost proti opotřebení, odolnost proti lomu (houževnatost) a schopnost neztrácet tvrchosť a chemickou stálost při vysokých teplotách (tvrdosť za tepla).

Odolnost proti opotřebení (WR) se projevuje jako schopnost odolávat různým druhům opotřebení tak, aby břit po určitou dobu neztrácel na výkonosti. Odolnost proti opotřebení není jedinou vlastností. Například abrazivní opotřebení hřbetu břitu se projevuje na změně rozměru obrobku nejvýrazněji. [6]

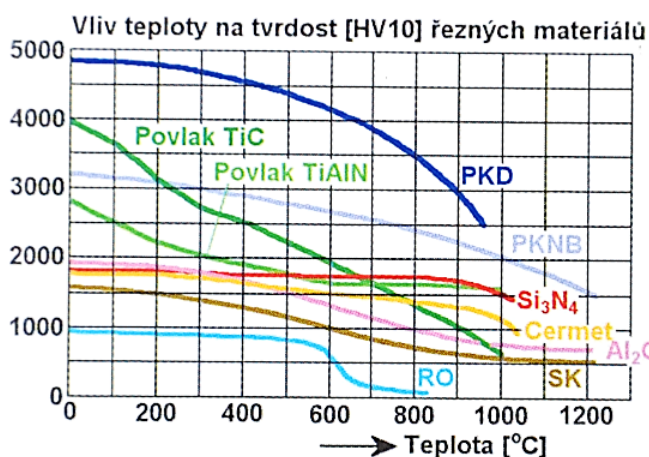
Houževnatost (T) se vyjadřuje mezi pevností v ohybu, nebo případně pevností v ohybu. Tyto hodnoty jsou zpravidla měřeny za pokojové teploty a nevypovídají nic o chování řezného materiálu při obrábění.



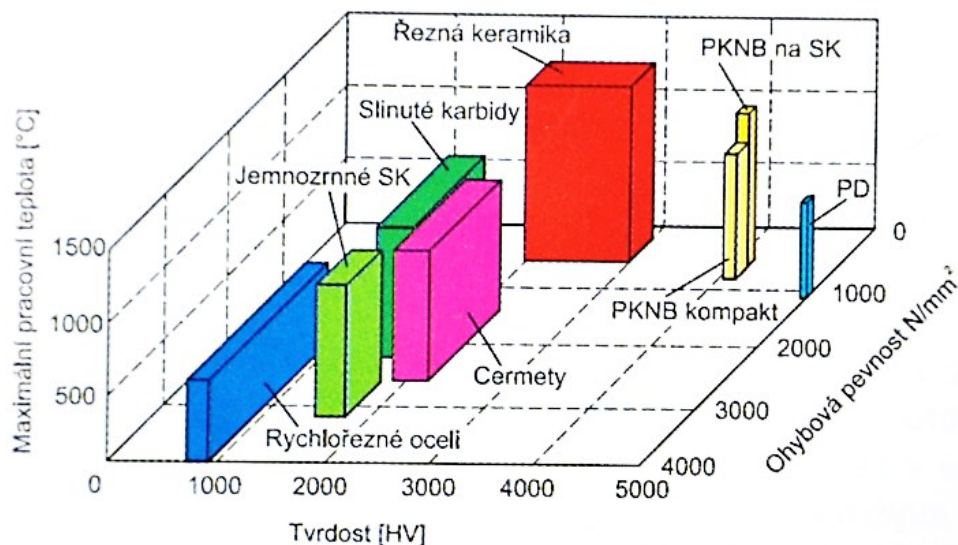
Obr. 24 Vliv mechanických vlastností na pracovní podmínky [6]

Tvrdosť za tepla (HH) je důležitá vlastnost, která

rozhoduje o výsledku obrábění při vznikajících teplotách vysokými řeznými rychlostmi. S tímto ohledem se řezné materiály značně liší.



Obr. 25 Závislost tvrdosti nástrojových materiálů na teplotě [6]



Obr. 26 Vlastnosti nástrojových materiálů [6]

Faktory, ovlivňující volbu řezného nástroje:

- Druh operace obrábění (hrubovací nebo dokončovací operace, kontinuální nebo přerušovaný řez)
- Materiál, tvar a rozměr obrobku
- Obráběcí stroj (výkon, stabilita, rozsah posuvů a otáček, způsob upnutí)
- Řezné podmínky
- Požadovanou jakost povrchu
- Stabilitu technologie obrábění
- Náklady na obrábění

Požadavky kladené na řezné materiály:

- Pevnost a tvrdost v tahu
- Houževnatost a pevnost v ohybu
- Pevnost za tepla a odolnost proti teplotním rázům
- Odolnost proti otěru (adheze, difuze, nárůstky,...)
- Chemická stálost a chemicky neutrální chování vůči obráběným materiálům
- Odolnost proti vzniku trhlin a pevnost vazby vnitřních fází
- Vysoká řezivost

Rozdělení materiálů obráběcích nástrojů s definovanou geometrií břitu:

- Kovové nástroje (vyrobené klasickým tavením)
- Nástrojové oceli (NO)
- Spékané tvrdokovy (vyrobené práškovou metalurgií)
- Slinuté karbidy (SK)
- Cermety
- Keramické materiály (nekovové lisované prášky)
- Řezná keramika (ŘK)

- Syntetické velmi tvrdé materiály
- Kubický nitrid boru (CBN)
- Diamant (PKD)




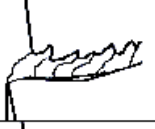





Obr. 27 Řezné materiály [10]

2.2 Rozdělení řezných materiálů dle ISO

Obráběcí materiály se dělí podle normy ISO 513: 2002 do šesti hlavních aplikačních skupin podle materiálů, které se jimi obrábí. Každá aplikační skupina je určena písmenem a klasifikačním číslem. Uspořádání aplikačních skupin je podle relativního opotřebení a pevnosti, kdy je číslo nižší, tím je možné obrábět větší rychlostí a má vyšší ořezuvzdornost. Naopak čím je číslo vyšší, tím rostou rychlosti posuvu a pevnost řezných materiálů. [8]

Klasifikace ISO se vztahuje výhradně na slinuté karbidy a nezahrnuje keramiku, Materiál Coronite, CBN, PKD, nebo některé materiály obrobků.

V tabulce jsou znázorněny nejdůležitější materiálové skupiny, včetně uvedení klasifikace CMC (Coromant-Material-Classifikation)

ISO		CMC
P	 1	01 02 03 06
M	 2	05 02
K	 3	07 08 09
M	 4	20 08 09
K	 5	30 33
K	 6	04 10
M	 7	23

Obr. 28 Materiálové skupiny [10]

Skupina K

Je určena pro materiály, které vytváří krátkou drobnou třísku, mezi které patří zejména litiny, temperovaná litina a litina s globulárním grafitem. SK nejsou vhodné pro materiály, které tvoří dlouhou třísku, protože ta zatěžuje tepelně čelo nástroje. Značně převládá abrazivní a adhezní opotřebení a síly řezání jsou relativně nízké.

Skupina N

Pro materiály neželezných kovů, nejčastěji hliník a další neželezné kovy, jejich slitiny a nekovové materiály.

Skupina S

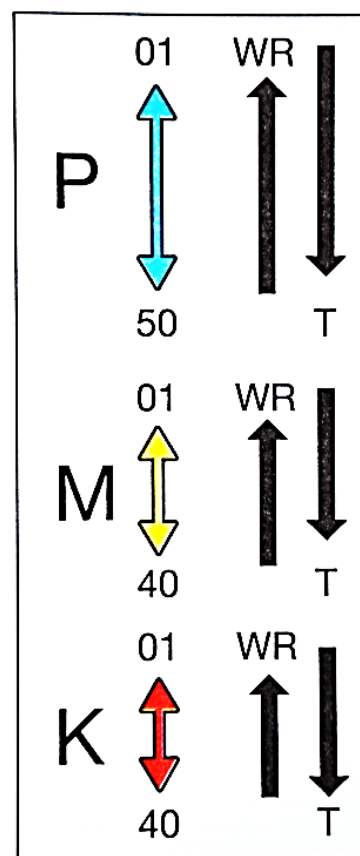
Používá se nejčastěji pro obrábění tepelně odolných slitin

Skupina P

Pro materiály, které vytváří dlouhou třísku, jako například uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické nerezavějící oceli. Díky velkým řezným silám má řezný proces za následek značné opotřebení na čele nástroje. Vysokou odolnost proti difuzi za vysokých teplot zaručuje přísada TiC a je jednou z hlavních příčin výmolů na čele nástroje. [8]

Skupina M

Je určena pro lité oceli, nerezavějící austenitické a austeniticko – feritické oceli a tvárné litiny, které tvoří střední a delší třísku. Díky své vysoké houževnatosti se používají SK pro těžké hrubovací práce a pro přerušované řezy. Během řezání dosahují síly středních až vysokých hodnot a proto dochází k vydrolování ostří.



Obr. 29 Klasifikace ISO [10]

na bázi železa, niklu a kobaltu, titanu a titanových těžce obrobitelných slitin.

Skupina H

Je určena na obrábění kalených a vysoce tvrdých ocelí, tvrzených a kalených litin.

2.3 Slinuté karbidy

Slinutý karbid je řezný materiál, který obsahuje tvrdé částice karbidu, které jsou vázány kovovým pojivem. Tento materiál hraje spolu s rychlořeznou ocelí velkou roli při obrábění vyššími řeznými rychlostmi. Posledních 60 let šel vývoj slinutých karbidů rapidně nahoru a povlakované karbidy ve značné míře vytlačili karbidy nepovlakované, tím vzrostla produktivita i obrábění. Nepovlakované slinuté karbidy jsou v dnešní době vhodné pouze pro obrábění hliníku a pro zvláštní účely. [10]



Obr. 30 Slinutý karbid [10]

Díky trendu dnešní doby, což je zdokonalování stávajících materiálů místo hledání materiálů zcela nových, se zlepšují vlastnosti, což napomáhá ke stanovení optimálních pracovních podmínek pro efektivní užití v přesně vymezených oblastech obrábění. Jedním způsobem, jak zlepšit mechanické vlastnosti u slinutých karbidů, je snižování velikosti zrna tvrdých strukturních složek. Poté má materiál vyšší tvrdost, lomovou houževnatost a pevnost v ohybu. V kombinaci s vhodným povlakem dospějeme k vynikajícím nástrojovým materiálům se zvýšenou řezivostí a trvanlivostí. [18]

Slinuté karbidy se vyrábí pomocí práškové metalurgie a na rozdíl od nástrojových ocelí se liší tím, že se nevyrábí tavením, nýbrž spékáním. Jsou to pevně spojené směsi prášků velmi tvrdých karbidů kovu s vysokým bodem tavení. Mezi nejdůležitější karbidy

patří karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC), karbid niobu (NbC), karbid chromu (Cr_3C_2) a karbid vanadu (VC) a jako pojivo se nejčastěji používá kobalt (Co). Jelikož jsou uvedené karbidy navzájem rozpustné, mohou tvořit slinutý karbid i bez použití pojiva. Celkový objem řezného materiálu obsahuje 80 až 95 % tvrdých částic o rozměru 1 až 10 μm . Slinutí vzniká při ohřívání kobaltu, co by pojiva, který se taví a rozpouští v sobě části karbidu a tvoří s nimi taveninu, která má nižší teplotu tavení než je teplota tavení pojiva a po ochlazení se vytvoří pevná spojená hmota. [6]

Pomocí moderní technologie práškové metalurgie lze připravit slinuté karbidy se zrna nanometrických rozměrů.



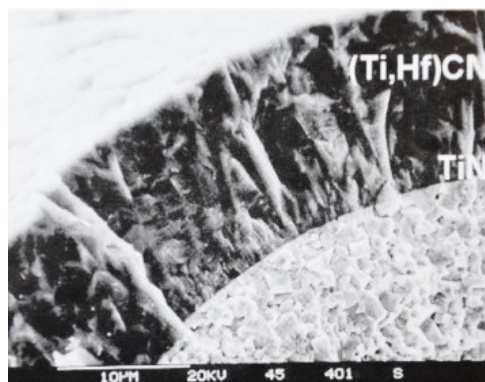
Obr. 31 Struktura slinutého karbidu [6]

Vlastnosti slinutého karbidu:

- Vysoká tvrdost HRA 90 až 95
- Nízká pevnost v ohybu 900 až 1900 Mpa
- Odolnost proti opotřebování do vysokých teplot 700 až 900 °C
- Dobré mechanické a fyzikální vlastnosti (pevnost v tlaku a tahu)
- Odolnost proti korozi
- Malá tepelná a elektrická vodivost
- Doporučené řezné rychlosti jsou 40 až 300 m/min

2.3.1 Povlakované slinuté karbidy

V současné době jsou prakticky všechny materiály opatřeny tvrdým povlakem. [18] Povlakované slinuté karbidy jsou díky pevnému karbidovému podkladu a termochemickému stabilnímu povlaku vhodné pro vysoké řezné a posuvové rychlosti, vysoký úběr třísky a přerušovaný řez. S pomocí povlaků se docílí snížení tření, dobrému odvodu třísek na čele. Dále, při zachování houževnatého jádra, dosažení tvrdého povrchu, zamezení vzniku nárustku a především zvýšení trvanlivosti nástroje. [6]

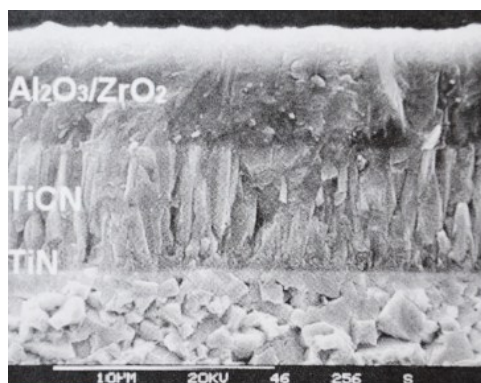


Obr. 32 Povlak Widia TiN + (Ti, Hf)CN [18]

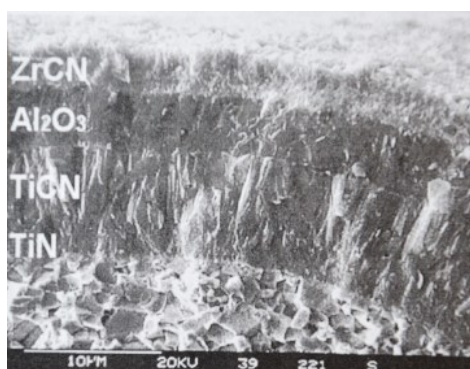
Vývojové stupně povlakovaných slinutých karbidů: [6]

1. **Generace:** Je to jednovrstvý povlak (prakticky pouze TiC), který má tloušťku asi 6µm. Díky špatné soudržnosti podkladu a povlaku docházelo při obrábění k odlupování povlaku a tím k znehodnocování nástroje. Tato neblahá vlastnost byla způsobena nedokonalou technologií výroby, kdy mezi podkladem a povlakem docházelo k tvorbě křehkého eta-karbidu.
2. **Generace:** Je to také jednovrstvý povlak (TiC, TiCN, TiN), ale na rozdíl od 1. Generace bez eta-karbidu na přechodu mezi podkladem a povlakem. Díky zdokonalení výrobní technologie bylo umožněno vytvořit vrstvy povlaků o větší tloušťce (7 až 10 µm), které zamezilo jejich odlupování během obrábění.
3. **Generace:** Jedná se o vícevrstvý povlak se dvěma až třemi vrstvami (případně i více), který má mezi jednotlivými vrstvami ostře ohraničené přechody. Jednotlivé vrstvy jsou nanášeny podle jejich vlastností. První vrstva je z pravidla s lepší přilnavostí k podkladu, ale má relativně nižší odolnost proti opotřebení. Poslední vrstva nemusí mít dobrou přilnavost k podkladu, ale musí mít vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení a oxidaci za zvýšených teplot. (Obr. 2.140). Nejčastější řazení jednotlivých vrstev od podkladu k povrchu bývá: TiC-Al₂O₃, TiC-TiN, TiC-TiCN-TiN, TiC-Al₂O₃-TiN.
4. **Generace:** Je to speciální vícevrstvý, „multivrstvý“ povlak, který se často skládá dokonce s více než deseti vrstev a mezivrstev, s méně či více výraznými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Vrstvy se skládají ze stejných materiálů jako u povlaků 3. Generace. U metody povlakování CVD jsou multivrstvé povlaky vyráběny

pomocí cíleného řízení atmosféry v povlakovacím zařízení. U metody PVD pomocí odpařování různých typů targetů. Díky multivrstvým povlakům lze odklánět a zpomalovat šíření trhlin od povrchu povlaku k substrátu. Tuto schopnost mají i povlaky s nanokrystalickou strukturou a povlaky s vysokým zbytkovým tlakovým napětím.



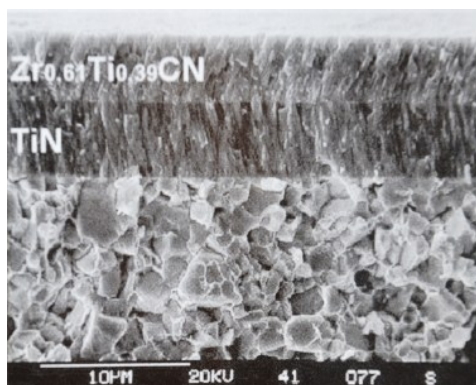
Obr. 33 Povlak Widia $\text{TiN} + \text{TiCN} + \text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ [18]



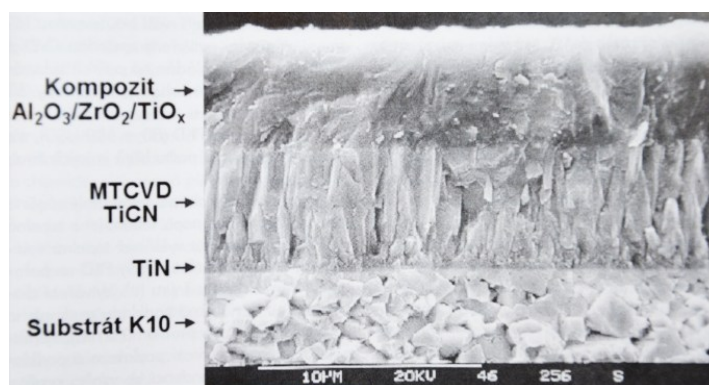
Obr. 34 Povlak Widia $\text{TiN} + \text{TiCN} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrCN}$ [18]



Obr. 35 Povlak Widia $\text{TiN} + \text{ZrO}_2/\text{ZrCN}$ [18]



Obr. 36 Povlak Widia TiN + (Zr, Ti)CN [18]



Obr. 37 Povlak Widia TiN + TiCN+ $Al_2O_3/ZrO_2/TiO$ [18]

2.3.1.1 Metody povlakování

Povlakované slinuté karbidy se vyrábí nanášením tenké vrstvy materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení na podklad z běžného slinutého karbidu typu K, P nebo M. Povlak má ve formě tenké vrstvy vyšší tvrdost i pevnost než stejný homogenní materiál v jakékoliv jiné formě. Povlakovaný materiál neobsahuje žádné pojivo (ve srovnání se substrátem), má o jeden i více řádů jemnější zrnitost a méně strukturních defektů a navíc tvoří bariéru proti difuznímu mechanismu opotřebení nástroje. [6]

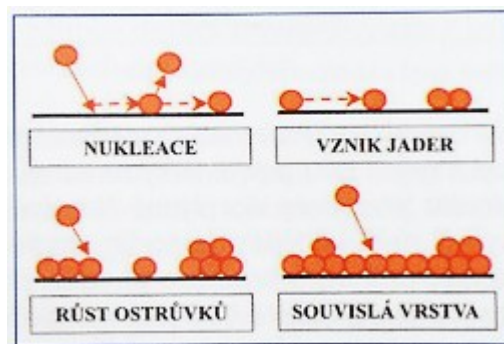
Metody povlakování lze rozdělit do dvou základních skupin:

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování):

- Tato metoda pracuje s nízkými pracovními teplotami (pod 500°C). Nejprve tato metoda byla určena pro povlakování nástrojů z rychlořezné oceli, ovšem v poslední době dochází k výraznému rozšíření metod PVD také pro slinuté karbidy.
- Povlak je nejčastěji vytvářen:
 - Napařováním (evaporation) – přímé, reaktivní, aktivované reaktivní, s asistencí iontového paprsku.

- Naprašováním (sputtering) – doutnavý výboj (stejnosměrná nebo RF dioda, trioda, magnetron), iontový paprsek (jediný, dvojitý).
- Iontovou implantací (ion-plating) – doutnavý výboj (stejnosměrná nebo RF dioda, trioda, výboj v duté katodě, naprašování), iontový paprsek (přímý iontový paprsek, iontový paprsek, skupinový iontový paprsek)

U metody PVD se povlak vytváří pomocí sníženého tlaku, který se pohybuje zpravidla mezi 0,1 až 1,0 Pa, pomocí kondenzací částic, které jsou uvolňovány ze zdroje částic fyzikálními metodami – rozprašováním nebo odpařováním. Napařovací a naprašovací metody PVD



Obr. 38 Schéma vzniku PVD povlaku [6]

využívají techniky odpařování a odprašování, aby dosáhly převodu pevných látek ze zdrojů povlakovacího materiálu do plynné fáze. Způsob vytváření plazmy a hodnoty energie iontů, neutrálních částic a elektronů nejvíce ovlivňují strukturu a vlastnosti deponovaného povlaku. Jednotlivě dopadající atomy vytváří určitou vrstvu povlaku, kdy jsou nejdříve zachyceny na povrchu pomocí sorpce, poté jsou buď zachyceny trvalou vazbou, nebo zpětně uvolněny. [6]

Mezi nevýhody povlakování metodou PVD patří relativně složitý vakuový systém a nutnost pohybovat povlakovanými předměty za účelem rovnoměrného ukládání povlaku po celém jejich povrchu.

Výhoda je, že je možné povlakovat ostré hrany (ostře provedené ostří nástroje s poloměrem zaoblení břitu pod 20 μm).



Obr. 39 Modely růstu vrstvy PVD povlaku [6]

Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování z plynné fáze):

- Tato metoda, oproti metodě PVD, probíhá za vysokých teplot (1 000 až 1 200 $^{\circ}\text{C}$) a je hlavní metodou povlakování slinutých karbidů.
- Může být realizována ve čtyřech variantách:
 - Tepelně indukovaná
 - Plazmaticky aktivovaná
 - Elektronově indukovaná (paprsek elektronů)
 - Fotonově indukovaná (např. laserem)

Povlakovací metoda CVD je chemický proces, pomocí kterého se v plazmě vytváří reakce plynných chemických sloučenin. Plazma se tvoří v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového slinutého karbidu a následně na něm ukládá produkty heterogenní reakce. Je potřeba, aby výchozí plyny obsahovaly stabilní, ale přitom prchavou sloučeninu, která se pomocí přivedené energie, jako je ohřev, plazmový oblouk, laser, chemicky rozkládá (např. kovový halogenid, TiCl_4 , ZrCl_4 , AlCl_3). V plynech musí být obsažen i nekovový plyn, který vytvoří vrstvu povlaku. V dnešní době se stále častěji používají různé modifikované CVD metody, např:

- Nízkotlakové CVD metoda (Low-Pressure CVD – LPCVD)
- Metoda CVD se žhavicím vláknem (Hot Filament CVD – HFCVD)
- Laserem indukovaná CVD metoda (Laser Induced CVD – LICVD, LCVD)
- Metoda s lavinovým plazmatickým výbojem (Cascade Arc Plasma-assisted CVD – CACVD)

2.3.1.2 Vlastnosti povlaků

Druh a tloušťka povlaku, metoda povlakování a substrát nejvíce ovlivňují fyzikální a mechanické vlastnosti a tím i řezný výkon povlakovaných slinutých karbidů. Právě pro řezný výkon je dále důležitá i drsnost povrchu povlaku a koeficient tření. Typ povlaku nejvíce ovlivňuje jeho odolnost proti opotřebení. Abrazivní opotřebení je ovlivňováno tvrdostí, tepelné opotřebení termochemickou stabilitou, představovanou volnou energií. Při vysokých řezných rychlostech, kde převažuje více tepelného opotřebení, vykazuje povlak Al_2O_3 s vynikající termochemickou stabilitou vyšší trvanlivost než povlak TiC . Trvanlivost narůstá u povlaku TiC , který je tvrdší než Al_2O_3 , při poklesu řezné rychlosti, kdy začíná převládat abrazivní opotřebení. Seřazení povlaků podle odolnosti proti tepelnému opotřebení: $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{TiN} > \text{TiCN} > \text{TiC}$. Pořadí je opačné, pokud se jedná o odolnost proti opotřebení abrazivnímu. V následující tabulce je znázorněné obecné porovnání vlastností základních povlakovaných materiálů. [6]



Obr. 40 Porovnání povlaků s konvenčním a hladkým povrchem [6]

Tab. 3 Obecné porovnání vlastností základních povlakovaných materiálů [6]

Hodnocení	Chemická stabilita	Odolnost proti oxidaci	Tvrdost	Tvrdost za tepla
Nejlepší	Al_2O_3	Al_2O_3	TiC	Al_2O_3
↑	TiAlN	TiAlN	TiAlN	TiAlN
	TiN	TiN	TiCN	TiN
	TiCN	TiCN	Al_2O_3	TiCN
Špatná	TiC	TiC	TiN	TiC

Povlaky Al_2O_3 jsou používány nejvíce pro vysoké řezné rychlosti, zatímco povlak TiC je naopak vhodný pro nízké řezné rychlosti, samozřejmě v rozsahu určeném pro povlakované slinutí karbidy. [6]

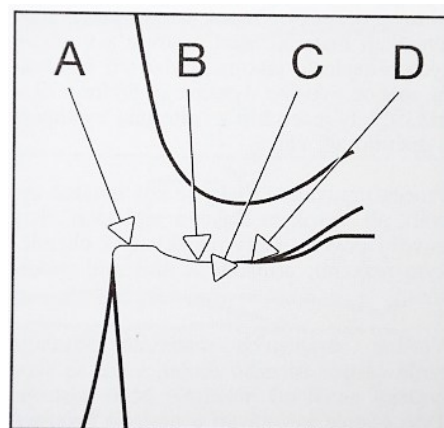
3 NÁVRH METODIKY OVĚŘOVÁNÍ TRVANLIVOSTI VBD

Břity řezných nástrojů jsou při obrábění vystaveny určitému opotřebení až do okamžiku dosažení konce doby trvanlivosti. Trvanlivost bříty nástroje je doba, po kterou je schopen pracovat nástroj od upnutí nové vyměnitelné břitové destičky do opotřebení jejího bříty a počítá se v minutách. [9]

Trvanlivost závisí na způsobu obrábění, kdy při obrábění na čisto je břit opotřeben tehdy, když není schopen dosáhnout požadované jakosti povrchu. Při hrubování se tolerují podstatně větší hodnoty opotřebení, protože se neklade velký požadavek na stav povrchu a rozměry obrobku. Doba trvanlivosti při hrubování může být omezena špatnou schopností odvodu třísky nebo rizikem náhlého lomu destičky. Předčasné ukončení trvanlivosti může způsobit i špatně zvolený držák, kdy je možný vznik vibrací, které jsou vyvolány například nedostatečnou tuhostí držáku nebo chybným upnutím obrobku. [9]

Nejdůležitější faktory, které zatěžují břit a mají snahu změnit geometrii bříty, jsou:

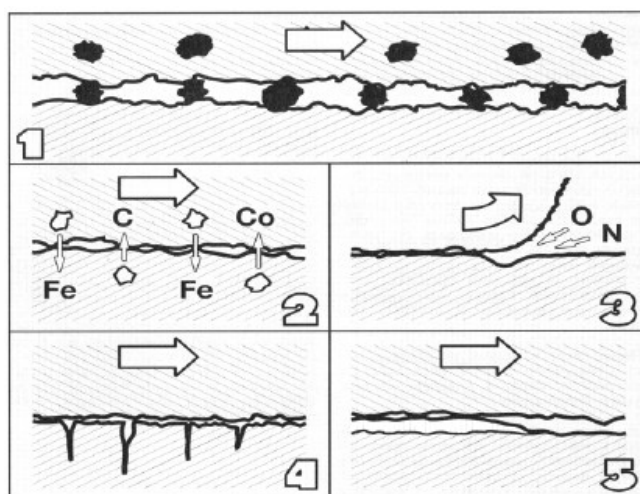
- Mechanický (A)
- Tepelný (B)
- Chemický (C)
- Abrazivní (D)



Obr. 41 Typické zóny opotřebení [9]

3.1 Opotřebení řezných nástrojů

Při obrábění se na ploše čela a hřbetu břitové destičky vyvíjí značné množství tepla, které značně namáhá materiál bříty. Při utváření třísky, které se třou za vysokého tlaku a při vysokých teplotách, se utváří čistý kovový povrch, který má sklony k chemickým reakcím a popřípadě i k difúzním procesům. K abrazivnímu efektu dochází díky částicím různého druhu, které jsou obsaže-



Obr. 42 Hlavní mechanismy opotřebení bříty nástroje při obrábění kovů [9]

ny v obráběném materiálu a svou tvrdostí se neliší od materiálu břitu nástroje.

Základní mechanismy opotřebení, které vznikají díky působením zatěžujících faktorů:

- Abrazivní opotřebení
- Difúzní opotřebení
- Oxidační opotřebení
- Lom (statický nebo dynamický)
- Adhezní opotřebení

Abrazivní opotřebení

Je to forma opotřebení, které vzniká působením tvrdých částic mezi povrchem obrobku a povrchem nástroje. Působením mechanického zatížení vzniká rovinná plocha na hřbetě břitu. Schopnost odolávat abrazivnímu opotřebení závisí na tvrdosti materiálu břitu.

Difuzní opotřebení

Hlavním činitelem při vzniku difuzního opotřebení jsou chemické vlastnosti materiálu nástroje a jeho schopnost sloučení s materiálem obrobkem. Nejvíce o poměru difuzního opotřebení na celkovém opotřebení nerozhoduje tvrdost řezného materiálu, nýbrž chemické složení řezného materiálu a materiálu obrobku.

Některé materiály mezi sebou nereagují vůbec, zatím co jiné mají reakci vysokou. Afinita mezi slinutým karbidem a ocelí vede k pokračujícímu difuznímu opotřebení a tím vzniká žlábk na čele břitové destičky.

Oxidační opotřebení

U většiny kovů vzniká díky vysokým teplotám a přítomnosti okolního vzduchu. Některé nástrojové materiály jsou náchylnější k oxidačnímu opotřebení. Zvláště v místě kontaktu břitu, kde končí tříska, má vzduch přístup do řezného procesu. Tímto procesem vznikají typické žlábk. Oxidy jako wolfram a kobalt, které tvoří porézní filmy, jsou snadno odnášeny třískou, ale jiné oxidy, jako například oxid hlinitý, jsou podstatně pevnější a tvrdší.

Lom

K lomu vede kolísání teploty a zatížení řeznými silami, proto má často termomechanické příčiny. Ty mohou být na jedné straně díky velké tvrdosti nebo pevnosti materiálu obrobku, nebo také ve vysokých posuvech, ale na druhé straně i v příliš tvrdém řezném nástrojovém materiálu. K lomu také může dojít při použití příliš měkkého řezného materiálu.

lu, a to v případě, kdy dojde vlivem vysokých teplot k plastickým deformacím a díky tomu ke změně geometrie břitu.

Adhezní opotřebení

Nejčastěji se vyskytuje při nízkých teplotách obrábění na čele břitu nástroje a může vzniknout u materiálů tvořící jak krátkou, tak dlouhou třísku. Tento druh opotřebení vytváří nárůstek mezi třískou a břitem, který vzniká zvyšujícím se počtem vrstev a je navařován a vytvrzován až se z něj stane součást břitu. Takto nově vytvořený břit může být základem pro vznik nových nárůstků nebo může poškodit původní břit výlomem nebo vydrolováním. Vytváření nárůstků závisí na jednotlivých druzích řezných nástrojových materiálů. Při zvýšení teploty řezání se zmenšuje pravděpodobnost vzniku nárůtku. Ke vzniku nárůstků, případně adhezního opotřebení dochází, v závislosti na afinitě mezi řezným nástrojovým materiálem a materiálem obrobku a na tlacích v místě řezu, pouze v určité oblasti.

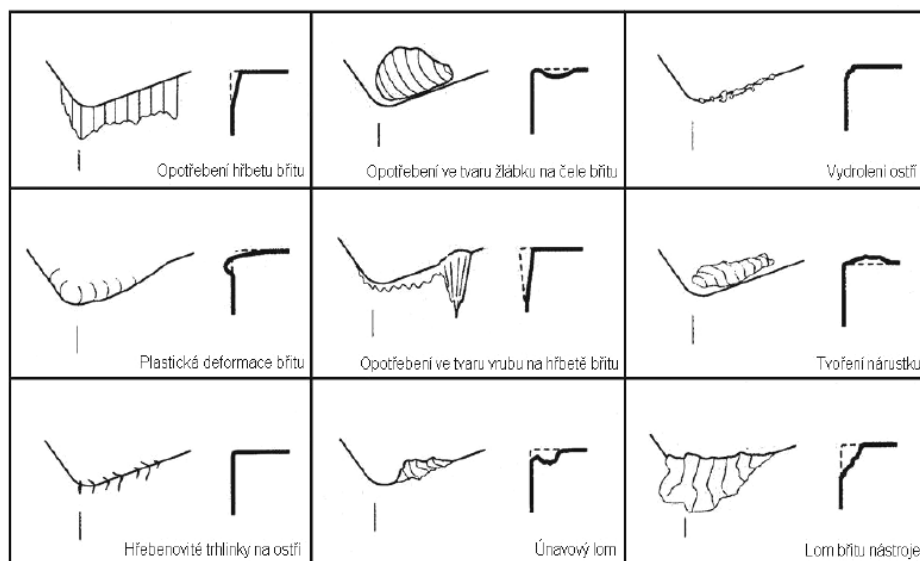
3.2 Typy opotřebení

Kombinace mechanismů opotřebení působí negativně na řezný nástrojový materiál a narušuje břit v místě řezu. Tyto mechanismy vytváří různé typy opotřebení, které jsou ovlivňovány vlastnostmi nástrojového řezného materiálu. [9]

Vlastnosti materiálů břitu nástrojů:

- Tvrdost
- Pevnost v tahu / houževnatost
- Chemická stabilita
- Tepelná vodivost
- Tepelná roztažnost
- Stav povrchu
- Přílnavost povlaku

Díky vyhodnocení typů opotřebení je možné kontrolovat vhodnost trvanlivosti, její spolehlivost i možnost jejího prodloužení a tím napomáhat zlepšení produktivity obrábění.

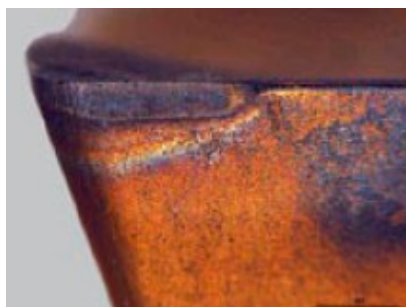


Obr. 43 Klasifikace typů opotřebení břitů nástrojů [8]

1. Opatření hřbetu bříty
2. Opatření ve tvaru žlábků na čele
3. Plastická deformace bříty
4. Opatření ve tvaru vrubu na hřbetě bříty
5. Hřebenovité trhlinky na ostří
6. Únavový lom
7. Vydrolování ostří
8. Lom bříty nástroje
9. Tvoření nárustků

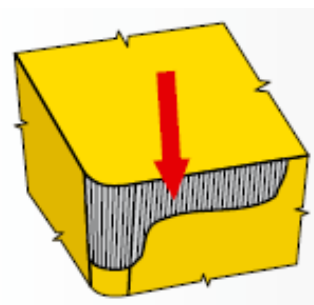
Opatření hřbetu bříty

Tento druh se zařazuje do abrazivního opotřebení a projevuje se na hřbetní ploše bříty. Před utváření, v průběhu, nebo po utváření třísky jsou plochy hřbetu u hlavního ostří, vedlejšího ostří, poloměru špičky, nebo na čelní fasetce zvlášť vystaveny působení materiálu obrobku. Opatření



Obr. 44 Opatření hřbetu bříty [3]

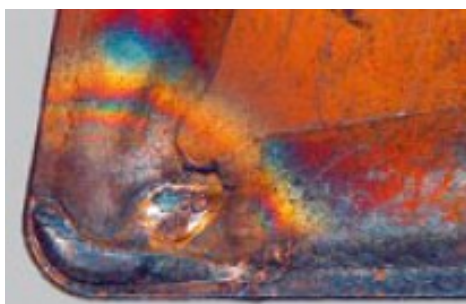
hřbetu bříty se považuje za obvyklé, navíc při stejnoměrně se zvětšujícím opotřebením hřbetu bříty dokonce i za ideální. Příliš velké opotřebení má ovšem za následek zhoršení jakosti obrobku, nepřesnost rozměrů a také díky změně geometrie bříty i navýšení tření. [9]



Obr. 45 Opatření hřbetu bříty [3]

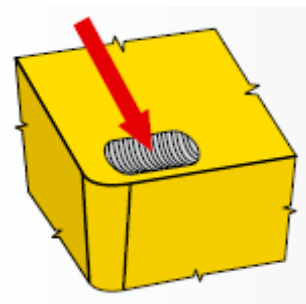
Opotřebení ve tvaru žlábků

Vzniká působením difuzního opotřebení a abraze na čele břitu. Tvrdé částice, které jsou obsaženy v materiálu obrobku, vyvolávají abrazivní opotřebení, pomocí kterého se částečně odebírá rezný nástrojový materiál a tím vzniká žlábek. Žlábek ale hlavně vzniká pomocí difúzí v místě břitu s nejvyšší teplotou, tedy v kontaktním místě mezi třískou a



Obr. 46 Opotřebení ve tvaru žlábků
[3]

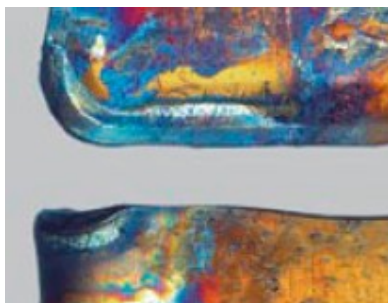
materiálem břitu. Velký žlábek může výrazně změnit geometrii břitu a tím ovlivnit tvar třísky, změnit směr působení rezných sil a zeslabit břit. Náchyllost na vznik tohoto opotřebení snižuje tvrdost za tepla a malá afinita mezi materiály obrobku a břitu nástroje. [9]



Obr. 47 Opotřebení ve tvaru žlábků [3]

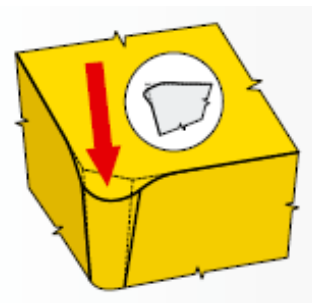
Plastická deformace břitu

Vysoké teploty a tlaky na břit, které vznikají díky vysokým rezným a posuvovým rychlostem a také díky tvrdým materiálům obrobku, mají za následek vznik plastické deformace. Vznik plastické deformace, která má za následek ještě vyšší teplotu, změni



Obr. 48 Plastická deformace břitu [3]

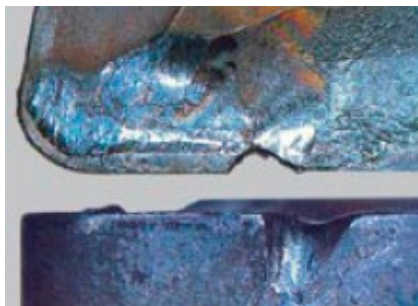
geometrii břitu a odchod třísky a tím může velmi rychle dosáhnout kritického stádia. Volbou správné geometrie břitu a použitím správného zaoblení ostří lze opotřebení zmenšit. [9]



Obr. 49 Plastická deformace břitu [3]

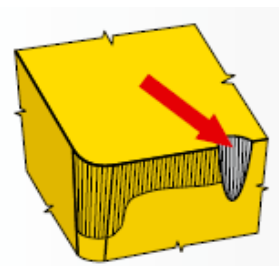
Opotřebení ve tvaru vrubu na hlavním hřbetě bříty

Vzniká vlivem adhezního opotřebení, ale může souviset i s oxidačním opotřebením. Vrub vzniká v místě, kde je břit



Obr. 51 Vrub na hlavním hřbetě [3]
vést k lomu destičky. [9]

v kontaktu s bokem třísky. Tedy přesně v místě, kde proniká vzduch do oblasti obrábění. Příliš velký vrub ovlivňuje utváření třísky a může



Obr. 50 Vrub na hlavním hřbetě [3]

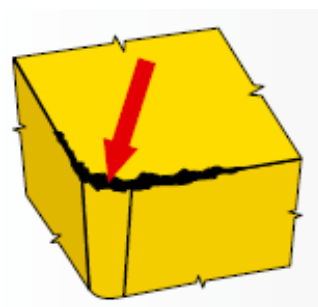
Vznik hřebenovitých trhlin na ostří

Je to únavové opotřebení vznikající díky působením tepelných šoků. Trhliny se tvoří kolmo na ostří a díky mož-



Obr. 52 Hřebenovité trhlin na ostří [3]

nému vylamování částic rezného nástrojového materiálu mezi jednotlivými trhlinami dochází k náhlému lomu. Pro zamezení zvýšení teplotních rozdílů se nedoporučuje použití chladících kapalin. [9]



Obr. 53 Hřebenovité trhlin na ostří [3]

Únavový lom

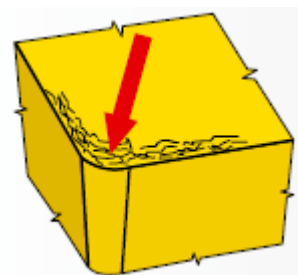
Vzniká díky mimořádně velkým změn velikosti řezných sil, neboli vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení,



Obr. 54 Únavový lom [3]

kdy působení jednotlivých druhů zatížení není tak velké, aby

došlo k lomu. Pro pevnost a houževnatost vyměnitelné břitové destičky jsou zejména



Obr. 55 Únavový lom [3]

náročné změny velikosti a směru působení řezné síly a také způsob vřezávání nástroje do materiálu obrobku. [9]

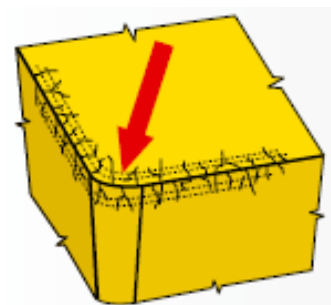
Vydrolování ostří

Toto opotřebení vzniká vlivem oddělování drobných částí řezného nástrojového materiálu z povrchu bříty. Nejčastější příčinou vzniku tohoto opotřebení jsou přerušované ře-



Obr. 57 Vydrolování ostří [3]

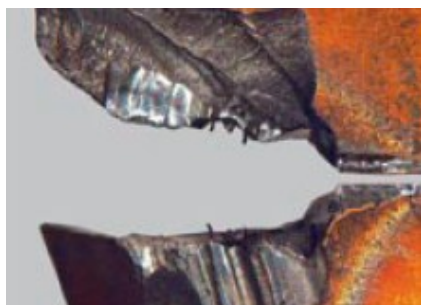
zy. Místo vzniku vydrolování lze očekávat přesným sledováním bříty. Příznaky jako odlupování materiálu a trhliny upozorňují na možný lom bříty. [9]



Obr. 56 Vydrolování ostří [3]

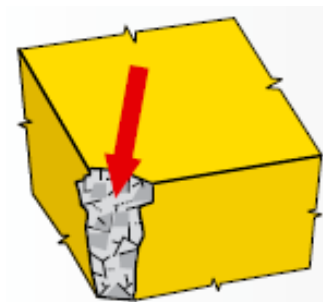
Lom bříty nástroje

Totální lom je velmi nebezpečný a znamená konec každému břítu, proto by se mu mělo za každých okolností za-



Obr. 58 Lom Bříty [3]

bránit. Lom bříty je v podstatě ukončení trvanlivosti. Hlavním faktorem, který může způsobit křehký lom je volba materiálu bříty, kdy je materiál málo hou-



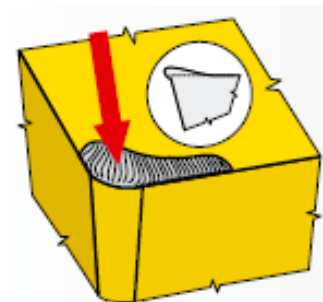
Obr. 59 Lom bříty [3]

ževnatý, aby mohl zvládnout veškeré požadavky na obrábění. Ke značným škodám může také dojít změnou geometrie, oslabení bříty, nárůst teplot a sil. [9]

Tvorba nárůstku

Nárůstek vzniká adhezním opotřebením a vztahuje se k teplotám a řezným rychlostem. Může také vznikat odlupováním vrstev v místě bříty. Tvorba nárůstku je negativním jevem

nejen kvůli změně geometrii bříty, ale i proto, že se mohou částice materiálu bříty odlomit společně s navařeným ná-



Obr. 61 Nárůstek

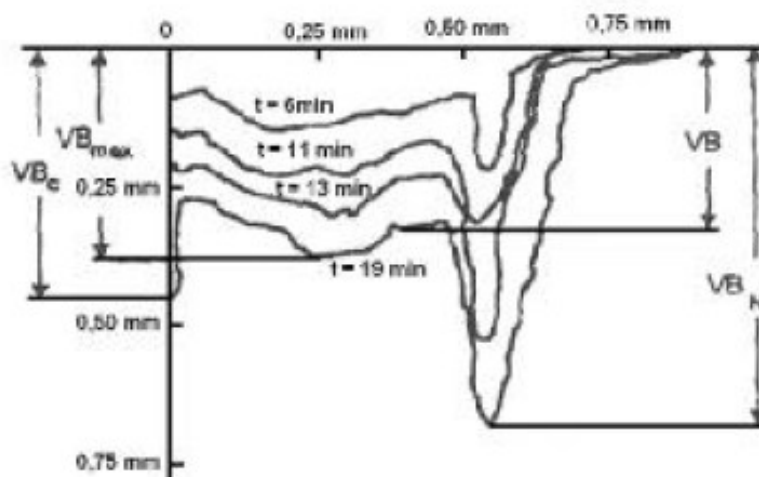


Obr. 60 Nárůstek [3]

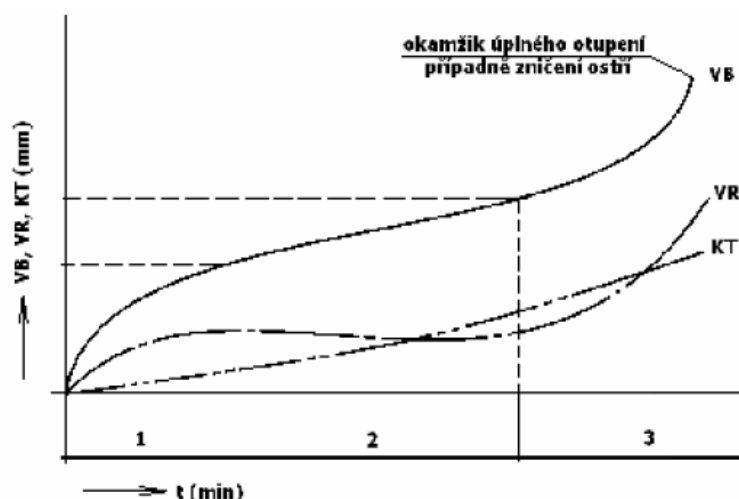
růstkem, který je tvořený částicemi materiálu obrobku. Nízké teploty a vysoké tlaky vyvolávají mezi materiálem třísky a čelem nástroje efekt svařování. Prvním negativním důsledkem při tvorbě nárůstků je zhoršená jakost obrobeného povrchu a nadměrná tvorba nárůstků může vést až k lomu břitové destičky. [9]

3.3 Měření opotřebení [8]

Opotřebení břitu nástroje lze určovat dle řady autorů. Norma ISO 3685 uvádí formy opotřebení s jednotlivými charakteristikami. Pro měření opotřebení nástrojů je hlavní ostří rozděleno do 4 oblastí, kdy oblast C znázorňuje poloměr ostří, oblast B je přímá část ostří, která se nachází mezi oblastmi C a A, oblast A je čtvrtina délky opotřebení nejvíce vzdálená od radiusu nástroje a oblast se nachází přibližně 1 – 2 mm za hlavním ostřím nástroje a je mimo kontakt nástroje a obrobku.



Obr. 62 Časová mapa opotřebení [8]



Obr. 63 Typické průběhy opotřebení [8]

Pro zjišťování velikost opotřebení se používají metody přímé a nepřímé

Přímé metody měření opotřebení

U této metody je složitá aplikace, protože jsou otupující se plochy nedostupné pro měřicí přístroje. Z tohoto důvodu je nutné přerušit obrábění, což ovlivňuje vlastnosti otupení v dalších etapách opotřebení. Dále je ve většině případů nutné sundat nástroj z nožového držáku, což má vliv na změnu podmínek při dalším upínání a ustanovení.

Druhy přímé metody:

- Metoda váhová (hmotnostní)
- Metoda radioaktivních izotopů (radioizotopová)
- Metoda mikrometrická
- Metoda optická (stínová)
- Metoda nanesené odporové vrstvy
- Metoda pneumatická

Při použití váhové metody se hodnota opotřebení bere úbytek hmotnosti řezného bříty. Tato metoda je přesná, ale nejde použít během procesu obrábění na obráběcím stroji. Jedinou nevýhodou této metody je tvorba nárůstku, který se tvoří na destičce a díky tomu nelze přesně určit hmotnost úbytku na nástroji.

Nejpřesnější a nejcitlivější metoda, kdy se určuje váhový úbytek v závislosti na čase, je metoda radioaktivních izotopů. Lze určit váhové úbytky až v řádech 10^{-3} mg. Tato metoda využívá toho, že nejvíce opotřebovaného materiálu odchází třískou, zatímco zanedbatelné

množství opotřebovaného nástrojového materiálu zůstává na obrobené ploše a neobrobené ploše místa řezu.

Při této metodě je radioaktivním článkem materiál nástroje a aktivovat ho lze dvěma způsoby:

- Zavedení radioizotopu již při hutnickém procesu. Potom je snadné přesně stanovit specifickou aktivitu nástrojového materiálu a změnu aktivity v průběhu času.
- Ozářením. Hotový nástroj se ozáří proudem neutronů v reaktoru, kdy tak vznikne směs radioizotopových prvků tvořící nástrojový materiál.

Nevýhodou této metody je, že je možné riziko zdravotního ohrožení a proto je nutné při práci dbát na bezpečnost.

Metoda mikrometrická určuje velikost opotřebení přímým měření lineárních rozměrů pomocí dílenského mikroskopu s křížovým stolem. Nevýhodou této metody je, že nelze použít přímo při obrábění. Díky této metodě a vhodného softwaru je možné měřit hodnoty opotřebení a okamžitě zaznamenávat kóty do obrazu. Dokonce je možné využít i 3D souřadnicové stroje, pomocí kterých se vytvoří reálný trojrozměrný obraz, to je vhodné především pro měření opotřebení na čele nástroje.

Tato metoda je nejjednodušší a využívá analýzu pomocí rozboru křivek opotřebení. Pomocí křivek lze rozeznat u hřbetního opotřebení pásmo záběru (pásmo I), pásmo normálního opotřebení (pásmo II) a pásmo zrychleného opotřebení (pásmo III).

Optická metoda se používá k měření hloubky žlábků. Využívá světelný paprsek, který je vrhán na ostrou hranu umístěna na čele pod úhlem 45° . Výsledná vzdálenost tečny ke stínu je rovna hloubce žlábků.

Další metoda, která využívá na měření opotřebení stín, je metoda založená na měření opotřebení na čele nástroje. Charakteristická mřížka, která je vytvořena na čele difuzorem, je snímána pomocí kamery. Deformace mřížky znázorňuje vytvořený kráter na čele nástroje.

Nepřímé metody měření opotřebení

Nepřímé metody se provádí přímo při procesu řezání a vychází z některých znaků, které se naskytují při procesu obrábění.

Metody:

- Vznik lesklého proužku na povrchu obrobku
- Vznik složek síly řezání
- Zvýšení potřebného výkonu řezání
- Zvýšení teploty řezání
- Vznik chvění nebo nežádoucího doprovodného zvuku
- Změna barvy a tvaru třísky
- Změna rozměrů obrobku
- Zhoršení drsnosti povrchu
- Emise signálů v pásmu ultrazvuku (akustická emise)

Všechny tyto metody jsou pouze přibližné.

3.4 Trvanlivost a životnost nástroje [8]

Trvanlivost nástroje je stejně jako opotřebení nástroje závislé zejména na metodě obrábění, vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu a na řezných podmínkách. Právě z řezných podmínek má největší vliv na trvanlivost řezná rychlost. Toto tvrzení zjistil F. W. Taylor, který odvodil základní vztah, na němž jsou založeny dnešní normy ČSN ISO 3685, i ČSN ISO 8688-1 a ČSN ISO 8688-2. Tento vztah se užívá ve tvaru:

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} [\text{min}]$$

Nebo díky velmi vysoké konstantě C_T (řádově $10^9 - 10^{13}$) ve tvaru:

$$T = \frac{C_v}{T^{1/m}} [m. \text{min}^{-1}]$$

Velikost konstanty C_v je pouze $10^2 - 10^3$, protože $c_v = cT^{1/m}$.

Při stanovení základní $T-v_c$ závislosti pro konkrétní řezný nástroj – obráběný materiál se vychází z definice trvanlivosti. Materiál je obráběn minimálně čtyřmi různými řeznými rychlostmi s konstantními ostatními podmínkami, kdy se sleduje časový nárůst opotřebení nástroje, který se vynáší do závislosti $VB=f(t)$. Díky zvolené řezné rychlosti podle řady R20, kterou předepisuje norma ČSN ISO 3685 pro nástroj ze slinutého karbidu, je dosaženo rovnoměrné rozložení jednotlivých bodů pro konstrukci $T-v_c$ závislosti. Při nejvyšší řezné rychlosti by neměla trvanlivost klesnout pod $T=5$ min.

4 ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNĚ ZÍSKANÝCH HODNOT

Díky zvyšujícím se požadavkům zákazníků a pro udržení se na trhu v tak velké konkurenci je nutné neustále inovovat sortiment obráběcích nástrojů. Z toho důvodu Pramet Tools vyvinul zcela nové geometrie vyměnitelné břitové destičky. Konkrétně se jedná o geometrie zaoblení řezné hrany. Testování bylo zaměřeno na trvanlivost vyměnitelné břitové destičky, kdy byly zvoleny konstantní řezné podmínky a horní kritérium opotřebení na hřbetě bylo $0,3\mu\text{m}$. Toto kritérium, při jehož dosažení končil test, byl zvolen dle standardních podmínek. Vyměnitelnou břitovou destičku lze použít i po překročení této hranici, ale poté nemá vyhovující vlastnosti, tím dochází ke zhoršení kvality povrchu obrobku. Celý proces probíhal bez chlazení.

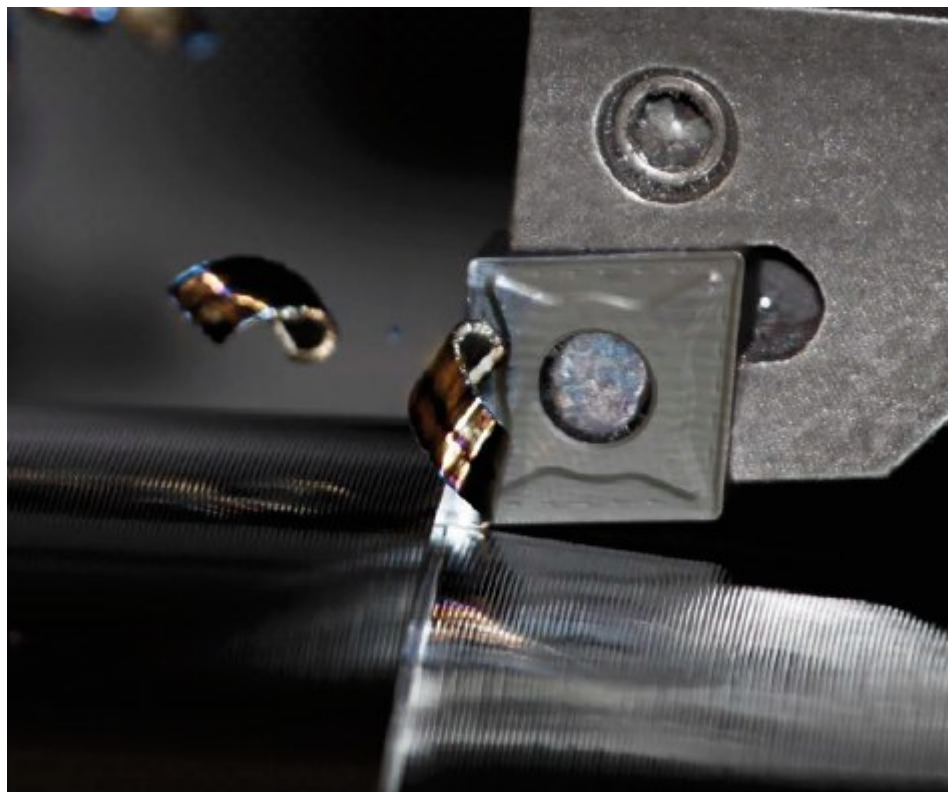
K experimentu byly k dispozici vyměnitelné břitové destičky, které byly vyrobeny ze stejného materiálu a prošly i stejným výrobním procesem. Destičky se lišily pouze v geometrii zaoblení řezné hrany. Materiál vyměnitelných břitových destiček byl T9325 s MT-CVD povlakem. Jako zkušební těleso sloužil válec o délce 1200 mm a průměru 250 mm z materiálu 12 050.9 s tvrdostí 198 HB. Tento materiál obrobku byl zvolen z důvodu nejčastějšího použití u zákazníků. Celý proces obrábění byl prováděn na soustruhu MAS S 80 a měření opotřebení probíhalo na mikroskopu Vision Engineering SX 45.

4.1 Materiál VBD řady T9325 [4]

Nové vylepšené soustružnické materiály s označením T9300 se v tuto chvíli skládají ze dvou členů – T9315 a T9325, které se dají použít pro širokou oblast soustružnických aplikací na oceli. Díky univerzálnosti materiálu představuje výhodu především pro menší producenty s limitovanými zdroji. Na druhou stranu materiál zaručuje dlouhou životnost, která je oceňována především v sériové a automatizované výrobě.

Pomocí technologií MT-CVD je nanесena základní vrstva nového povlaku, který se skládá z vysoce odolného TiCN. Za účelem dosažení optimálního výkonu v produktivních aplikacích při obrábění oceli byla vyvinuta nová generace povlaku $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ se světově unikátními vlastnostmi. Tento nový povlak poskytuje vynikající ochranu proti opotřebení, tepelným a chemickým vlivům, navíc má větší odolnost vůči opotřebení hřbetu, tvorbě nárůstku a plastické deformaci s porovnáním s předešlými povlaky.

Funkčně gradientní substrát, který tvoří základ materiálu, je obohacen kobaltovým pojivem, díky němu má materiál vysokou tuhost, tvrdost a odolnost vůči plastické deformaci s mimořádnou odolností ke vzniku a šíření trhlin.



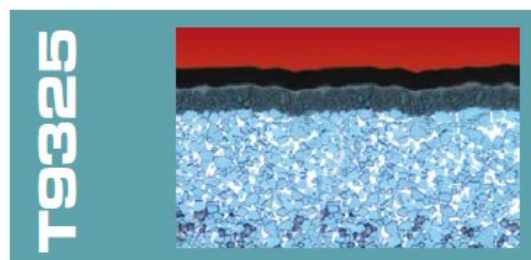
Obr. 64 VBD z materiálu T9325 [4]

4.1.1 T9325

Je to nejuniverzálnější materiál nové generace T9300. Jeho funkční gradientní substrát obsahuje střední kobaltové pojící fáze. Mimořádnou tepelnou a chemickou stabilitu a ochranu substrátu zaručuje středně silný MT-CVD povlak s unikátní vrstvou Al_2O_3 . Materiál je vhodný pro nepříznivé řezné podmínky, nepřerušovaný nebo přerušovaný řez a pro střední a vyšší řezné rychlosti.

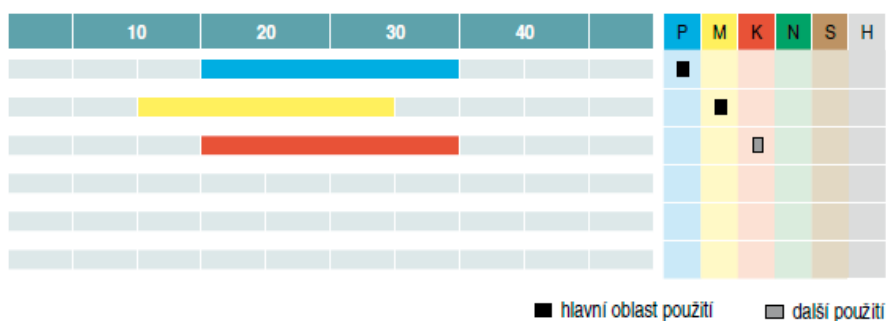
Hlavní znaky materiálu T9325 jsou:

- Střední tepelná odolnost
- Optimální pro krátké řezné cykly
- Vhodné pro přerušovaný řez
- Možnost použití chladicí kapaliny
- Nestabilní řezné podmínky



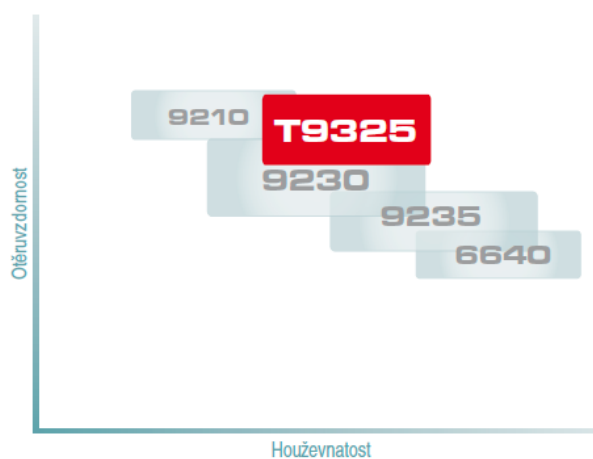
Obr. 65 Struktura materiálu T9325 [4]

Podle obrázku níže je vidět, že materiál T9325 disponuje svojí neuvěřitelnou univerzálností a je schopen obrábět materiály skupiny P, M a podmíněně K.



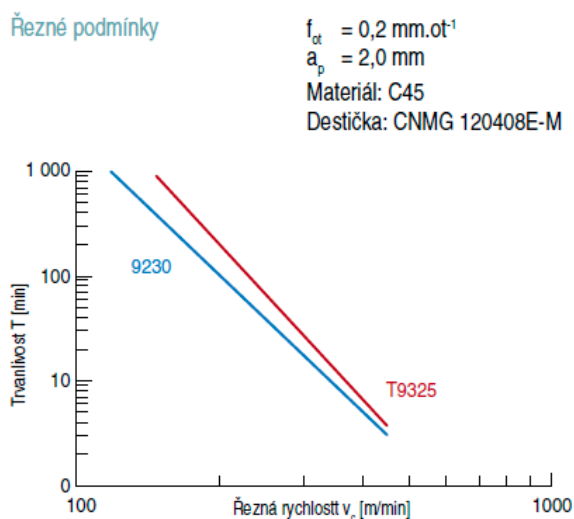
Obr. 66 Oblast použití [4]

Podle grafu je prokázáno unikátní použití v aplikační oblasti oproti dřívějším materiálům. Při stejné houževnatosti dosahuje větší otěruvzdornosti oproti materiálu 9230.



Obr. 67 Aplikační oblast [4]

V dalším grafu je znázorněna závislost materiálu T9325 a materiálu 9230 na oceli. Je vidět rozdíl nového a stávajícího materiálu, kdy při stejné řezné rychlosti dosáhne nový materiál T9325 vyšší trvanlivosti.



Obr. 68 Závislost materiálu T9325 a 9230 na oceli [4]

Zde je názorný příklad rozdílu nového materiálu T9325 a starého materiálu 9230, kdy se soustružil materiál C45 za stejných řezných podmínek. Výsledek názorného příkladu je znázorněn na grafu níže, z něhož je patrné, jaký je rozdíl mezi materiály s ohledem na jejich trvanlivost.

Obrábění novým materiálem T9325

Materiál: C45

Operace: Soustružení

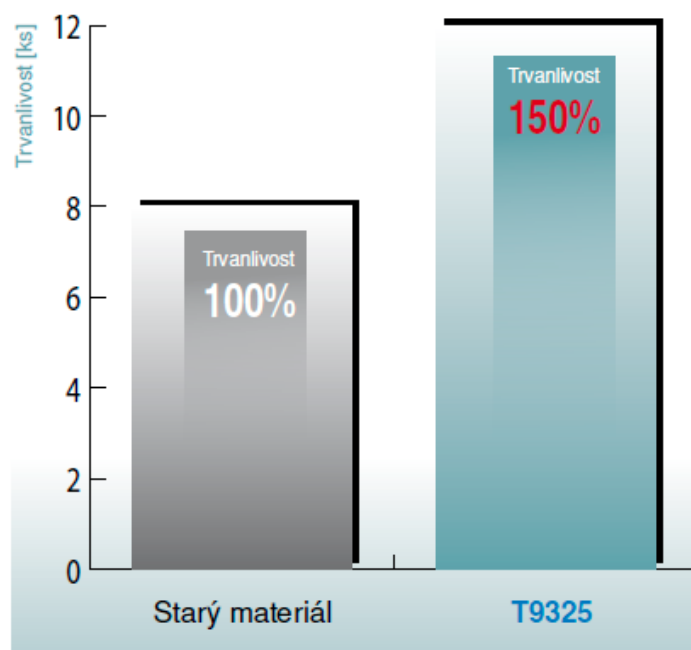
Destička:

- CNMM 190616E-OR; T9325 – Nový materiál
- CNMM 190616E-RM; 9230 – Starý materiál

Chlazení: Ne

Řezné podmínky		Starý materiál 9230	Přímět materiál T9325	
Řezná rychlost	v_c	180	180	m.min^{-1}
Posuv na otáčku	f_{ot}	1	1	mm.ot^{-1}
Axiální hloubka řezu	a_p	3,5	3,5	mm
Trvanlivost	T	8	12	pcs

Obr. 69 Řezné podmínky [4]



Obr. 70 Rozdílná trvanlivost mezi novým a stávajícím materiálem [4]

4.2 Zkušební těleso

Jako zkušební těleso pro experiment byla použita tyč z materiálu 12 050.9 o průměru 250 mm a délce 1200 mm. Tento materiál byl zvolen z důvodu nejčastějšího použití u zákazníků, jedná se tedy o jednu z nejběžnějších ocelí. Jedná se o konstrukční ocel, která je vhodná k zušlechťování a má tvrdost 198HB. Používá se na hřídele, ojnice, šrouby, větší ozubená kola.

Tab. 4 Chemické složení obrobku

Chemické složení [%]								
C	Si max.	Mn	P max.	S max.	Cr max.	Mo max.	Ni max.	Cr+Mo+Ni
0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	0,03	0,04	0,40	0,10	0,40	max. 0,63

4.3 Použité nástroje pro experiment

Pro experiment byly použity čtyři typy vyměnitelných břitových destiček. Ty se lišili pouze geometrií zaoblení řezné hrany.

4.3.1 Nožový držák

Jako nástroj sloužil nožový držák PCLNL M12 KT 648 který je vhodný na destičky typu CNMG. Tento nožový držák má upínací systém ISO P, který je určen pro upínání negativních destiček s válcovým otvorem jak s utvařeči tak i bez nich. Nožový držák zajišťuje

tuje spolehlivé a přesné upnutí vyměnitelné břitové destičky a je vhodný pro vnější soustružení dokončovací, ale i hrubovací.



Obr. 71 Nožový držák PCLNL M12 KT 648

4.3.2 VBD CNMD120412E-KR

K experimentu byly použity vyměnitelné břitové destičky CNMG 120412E-KR, které byly vyrobeny z nového unikátního materiálu T9325 s MT-CVD povlakem s Al_2O_3 vrstvou, který zaručuje mimořádnou tepelnou a chemickou stabilitu. Obsahuje funkčně gradientní substrát se středím obsahem kobaltové pojící fáze. To znamená, že je střed destičky houževnatější, zatímco povrch je pevnější a tím vydrží větší opotřebení. Destičky se lišili pouze v geometrii zaoblení řezné hrany. K dispozici bylo 8 destiček, s tím, že vždy dvě měly stejnou geometrii. Podle koeficientu K , který se vypočítá podle poměru velikostí zaoblení čela a hřbetu dle vztahu $K = \frac{S\gamma}{S\alpha}$, se destičky dělily na 4 skupiny, které jsou uvedeny v přílohách (PI, PII, PIII, PIV) a dále v příloze PV je uveden přesný výkres vyměnitelné břitové destičky.

Tab. 5 Koeficienty VBD

Skupina	Koeficient
A1, A2	$K = 1$
B1, B2	$K = 1,3$
C1, C2	$K = 1,6$
D1, D2	$K = 0,6$

4.4 Použité stroje a přístroje

Pro testování trvanlivosti vyměnitelných břitových destiček byl k dispozici NC soustruh MAS S80.

Tab. 6 Technická specifikace soustruhu

Výrobce	Kovosvit MAS
Typ	S 80i
Výkon na vřetení	17/20,5 kW
Otáčky vřetene	3200 ot/min - sklíči- dlo
Počet nástrojů	12
Řídicí systém	Siemens 810 D
Technická data soustruhu S80 [mm]	
Max. průměr soustružení	430
Max. rozměr tyčového materiálu	80
Max. délka obráběného hřídele	750/1000
Max. oběžný průměr	680



Obr. 72 NC soustruh MAS S80 [19]

Pro měření drsnosti obrobeného povrchu byl použit drsnoměr HOMMEL-ETAMIC W5, který je vysoce výkonným mobilním přístrojem který má třídu přesnosti 1 μm . Měřicí rozsah snímače činí 320 μm (-210/+110).



Obr. 73 Drsnoměr HOMMEL-ETAMIC W5 [21]

Opotřebení vyměnitelné břitové destičky bylo měřeno na dílenském mikroskopu s elektronickým odměřováním souřadnic a snímky opotřebení byly pořízeny na Stereomikroskopu Vision SX45.



Obr. 74 Dílenský mikroskop



Obr. 75 Stereomikroskop Vision SX45 [20]

4.5 Řezné podmínky

Řezné podmínky pro celý experiment byly zvoleny stejné. Při volbě se vycházelo ze zkušeností pracovníka.

Řezná rychlost (v_c) se zvolila podle předpokládané doby trvanlivosti, aby vyšla v rozmezí 10 – 20 min. Na základě toho byla určena $V_c = 220$ m/min. Kdyby se řezná rychlost zvolila vyšší, byl by zbytečně velký úbytek materiálu a doba trvanlivosti by nepřesáhla 10 min., kdežto kdyby byla řezná rychlost menší, doba trvanlivosti by byla značně vyšší a neprojevovalo by se tak opotřebení v daném časovém rozmezí.

Hloubka řezu (a_p) byla zvolena z utvářecího diagramu pro konkrétní typ destičky. Jelikož hloubka řezu nemá významný vliv na trvanlivost bříty, byla tedy zvolena $a_p = 2,5$. Větší hloubka řezu nemá pro experiment smysl.

Posuv (f) byl zvolen větší, než je velikost fazetky, aby se tříška odváděla pomocí utvařeče. Díky dobrému utváření třísky se také prodlužuje trvanlivost vyměnitelné břitové destičky.

Tab. 7 Stanovené řezné podmínky

Řezné podmínky		
a_p	[mm]	2,5
vc	[m/min]	220
f	[mm/ot]	0,35

4.6 Zpracování výsledků

Doposud firma Pramet Tools používala pouze geometrii bříty v podobě přesného rádiusu (A1, A2). Nyní byly vyvinuty nové geometrie, kdy se jednalo o menší smetení z čela (B1, B2), větší smetení z čela (C1, C2), či větší smetení z hřbetu (D1, D2). Experiment sloužil ke zjištění, jaký vliv má určitá geometrie na trvanlivost bříty.

4.6.1 Postup měření

Před samostatným měřením se nejprve musela udělat zkouška řezné rychlosti, aby trvanlivost byla v rozmezí 10 až 20 min. Po této zkoušce vyšla, jako ideální, řezná rychlost 220 m/min. Tato rychlost se nadále neměnila a byla spolu s dalšími parametry konstantní po celý experiment. Následně se pořídili snímky již zkoušených destiček. Snímky byly pořízeny před použitím, tedy bez jakéhokoliv opotřebení, kvůli následnému porovnání s destičkami opotřeбенými, díky Stereomikroskopu Vision SX45.



Obr. 76 Snímek čela



Obr. 77 Snímek hlavního hřbetu



Obr. 78 Snímek vedlejšího hřbetu

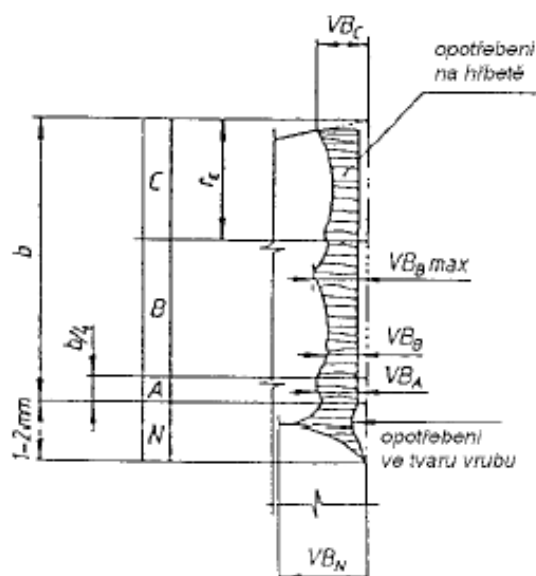
Jako první byla upnuta vyměnitelná břitová destička A1, která následně, se zadanými reznými podmínkami, obráběla zkušební válec po dobu jedné minuty. Právě po uplynutí jedné minuty se na zkušebním válci měřila pouze drsnost povrchu (R_a), nikoliv opotřebení nástroje. Toto opotřebení se měřilo až po uplynutí pěti minut. Jakmile destička dosáhla tohoto času, vyjmula se ze soustruhu a z nožového držáku. Se stejným postupem byly použity i destičky B1, C1, D1.

Tab. 8 Drsnost povrchu obrobku po 1. minutě záběru

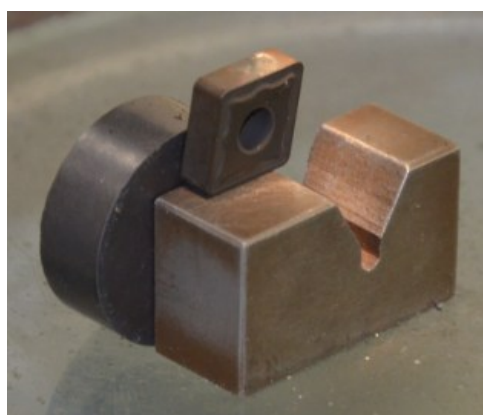
Ra [μm]	
A1, A2	2,330
	2,450
B1, B2	2,680
	2,760
C1, C2	2,860
	2,860
D1, D2	2,740
	2,640

Po prvních pěti minutách zkoušení bylo nutné změřit velikost opotřebení na první várci. K měření se využila metoda přímého měření opotřebení pomocí dílenského mikro-

skopu s elektronickým odměřováním souřadnic. Destička se upevnila pomocí magnetu na předem připravený přípravek. Pomocí mikroskopu a elektronického odměřování se nastavila nulová hodnota na okraji destičky a následně se změřila velikost opotřebení. Jako první se změřila a zapsala průměrná hodnota opotřebení na hlavním hřbetě (VB). Následně se destička otočila a změřila se velikost opotřebení na špičce (VBc).



Obr. 79 Formy opotřebení [7]



Obr. 80 Upínací přípravek k měření opotřebení

Zatímco u první várky destiček A1, B1, C1 a D1 se měřila velikost opotřebení, stejným postupem pokračovala i druhá várka A2, B2, C2 a D2. Jakmile se změřilo opotřebení destiček první várky, byly pořízeny snímky opotřebení hlavního hřbetu (HH), opotřebení vedlejšího hřbetu (VH) a opotřebení čela (CC). Z důvodu velkého počtu snímků a hlavně časové náročnosti se pořizovali snímky opotřebení pouze u první várky.

Tab. 9 Naměřené hodnoty první sady po pěti minutách

Typ destičky	Opotřebení		
	VB [mm]	VBc [mm]	Ra [μ m]
A1	0,117	0,083	2,660
B1	0,120	0,093	2,840
C1	0,120	0,098	2,990
D1	0,121	0,130	2,810

Jelikož nedošlo k překročení kritéria opotřebení, které bylo určeno před zahájení experimentu, je nutné destičky vystavit dalšímu procesu řezání a opět po dobu pěti minut.

Jakmile se druhá várka vyměnitelných břitových destiček (A2,B2, C2, D2) podrobila testu, kdy byla, stejně jako várka první, po dobu pěti minut v záběru, přešlo se opět na měření velikosti opotřebení. Proces probíhal totožně jako u první várky.

Tab. 10 Naměřené hodnoty u druhé sady po pěti minutách

Typ destičky	Opotřebení		
	VB [mm]	VBc [mm]	Ra [μ m]
A2	0,159	0,112	2,540
B2	0,127	0,093	2,830
C2	0,165	0,146	3,010
D2	0,209	0,141	2,680

Při srovnání naměřených hodnot první sady se sadou druhou, lze vidět nepatrný rozdíl zejména u velikosti opotřebení na hlavním hřbetě a opotřebení na špičce. U první várky je opotřebení na hřbetě a na špičce podstatně menší než u druhé várky. Nejvíce lze rozdíl vidět u destiček typu D, kde opotřebení hřbetu na destičce D2 je téměř dvounásobné než na destičce D1. Nejmenší rozdíl lze spatřit u destiček typu B. U velikosti drsnosti povrchu je rozdíl nepatrný, u některých destiček je drsnost i menší. Tudíž z toho vyplývá, že opotřebení doposud nemá značný vliv na kvalitu povrchu.

Takové rozdíly hodnot opotřebení lze vysvětlit například chybou v měření. Proto je důležité udělat další test, kdy budou destičky v záběru dalších pět minut. Poté by měly být hodnoty poněkud více rozdílné.

Druhé testování probíhalo podle stejného postupu jako testování první. Tedy destičky byly postupně upnuty a vystaveny pětiminutovému záběru, kdy nejprve byla opět

testována první sada vyměnitelných břitových destiček a následně sada druhá. Měření probíhalo také totožně jako měření první, s tím, že se u destiček nyní měřilo opotřebení po deseti minutách v záběru.

Tab. 11 Naměřené hodnoty první sady po deseti minutách

Typ destičky	Opotřebení		
	VB [mm]	VBc [mm]	Ra [μm]
A1	0,239	0,168	2,410
B1	0,202	0,140	2,410
C1	0,284	0,204	2,560
D1	0,293	0,194	3,120

Při pohledu na tabulku s výslednými hodnotami opotřebení, které byly měřeny po deseti minutách v procesu řezání, je vidět zvýšení opotřebení oproti prvnímu měření.

Druhá várka prošla rovněž dalším pětiminutovým zatížením v řezném procesu. Velikost opotřebení se opět měřilo pomocí mikroskopu a výsledky jsou znázorněny v tabulce.

Tab. 12 Naměřené hodnoty druhé sady po deseti minutách

Typ destičky	Opotřebení [mm]		
	VB	VBc	Ra
A2	0,177	0,148	2,390
B2	0,185	0,112	3,010
C2	0,266	0,227	3,120
D2	0,307	0,227	2,310

Oproti výsledným hodnotám po prvních pěti minutách lze v tabulce vidět nárůst velikosti opotřebení. Nejmenší opotřebení nastalo u destičky typu A2 a o nepatrně vyšší u typu B2. Nejvíce vzrostlo opotřebení u destičky D2, kdy velikost opotřebení přesáhla předem stanovené kritérium, a proto byla nadále destička z testování vyřazena. Mírné naznačení překročení stanoveného kritéria lze spatřit i u vyměnitelné břitové destičky typu D1, kdy hodnota opotřebení dosáhla téměř hranic 0,3 mm opotřebení. Z toho důvodu je možné předpokládat, že právě tento zvolený typ geometrie má značně negativní vliv na trvanlivost destičky a je pravděpodobné, že destičky nebudou schopny obrábět déle než 10 minut.

Následující a zároveň podléšné měření probíhalo podobně jako měření předcházející, ovšem s tím rozdílem, že čas vyměnitelné břitové destičky v záběru byl zkrácen na 3

minuty. Destička byla teda vystavena procesu řezání celkově 13 minut. Aby nebyl čas řezání zbytečně dlouhý, zkrátil se na základě zkušeností odborných pracovníků, kteří usoudili, že pro překročení stanoveného kritéria opotřebení postačí 13 minut.

Tab. 13 Naměřené hodnoty první sady po třinácti minutách

Typ destičky	Opotřebení [mm]		
	VB	VBc	Ra
A1	0,305	0,201	2,140
B1	0,304	0,149	2,280
C1	0,377	0,301	2,810
D1	0,341	0,230	1,800

První sada vyměnitelných břitových destiček byla vystavena poslednímu testování po dobu třinácti minut. Při pohledu do tabulky na výsledné hodnoty lze vidět, že veškeré typy destiček překročili stanovené kritérium opotřebení. U destiček A1 a B1 byla velikost opotřebení na hřbetě překročena jen nepatrně. Nejvíce byla hodnota překročena u destičky typu C1 a také i u destičky typu D1. Velikost opotřebení na špičce bylo zaznamenáno největší u destičky typu C1 a nejmenší u destičky B1.

Druhá sada vyměnitelných břitových destiček prošla také procesem řezání po dobu 13 minut, ovšem až na destičku typu D2. Tato destička byla díky překročení stanoveného kritéria velikosti opotřebení vyřazena už po deseti minutách v záběru.

Tab. 14 Naměřené hodnoty druhé sady po třinácti minutách

Typ destičky	Opotřebení [mm]		
	VB	VBc	Ra
A2	0,303	0,271	2,240
B2	0,310	0,192	2,590
C2	0,321	0,264	2,620
D2	-	-	-

V tabulce je vidět zvětšení opotřebení na hlavním hřbetě. U všech destiček tato hodnota překročila kritérium, a tudíž nebylo nutné pokračovat v dalším testování. Nejlépe vyšla hodnota u destičky typu A2, kdy bylo kritérium překročeno jen nepatrně. O něco více, ale také pouze nepatrně, překročila hranici i destička B2. Pokud srovnáme destičky C1 a C2, lze usoudit, že destička C2 má poněkud menší opotřebení než destička C1. Destička

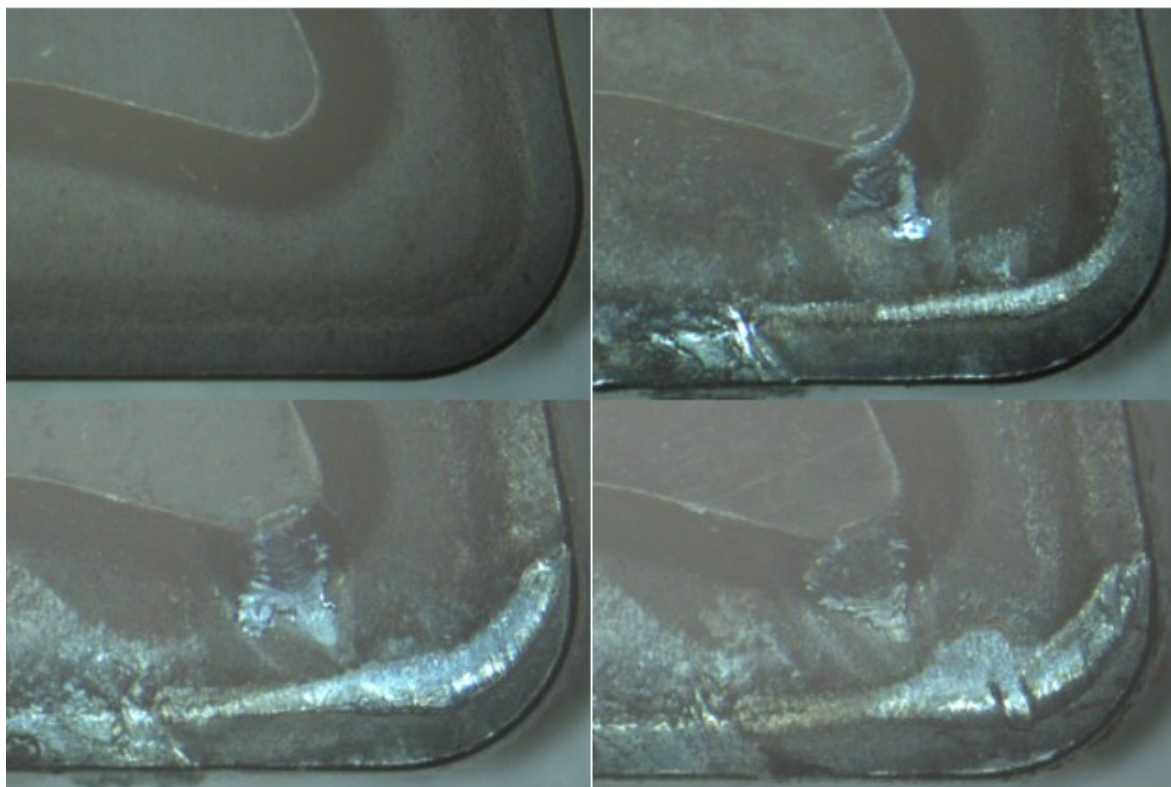
D2 byla vyřazena v předešlém měření. Mírné zvětšení velikosti opotřebení nastalo i u špičky všech vyměnitelných břitových destiček.

4.7 Vyhodnocení snímků

Díky pořízeným snímkům bylo umožněno posoudit postupně zvětšující se opotřebení vlivem řezného procesu.

4.7.1 VBD CNMG 120412E-KR

Tato vyměnitelná břitová destička měla standardní geometrii s přesným rádiusem, tedy s koeficientem $K = 1$. Tento typ geometrie se používal doposud

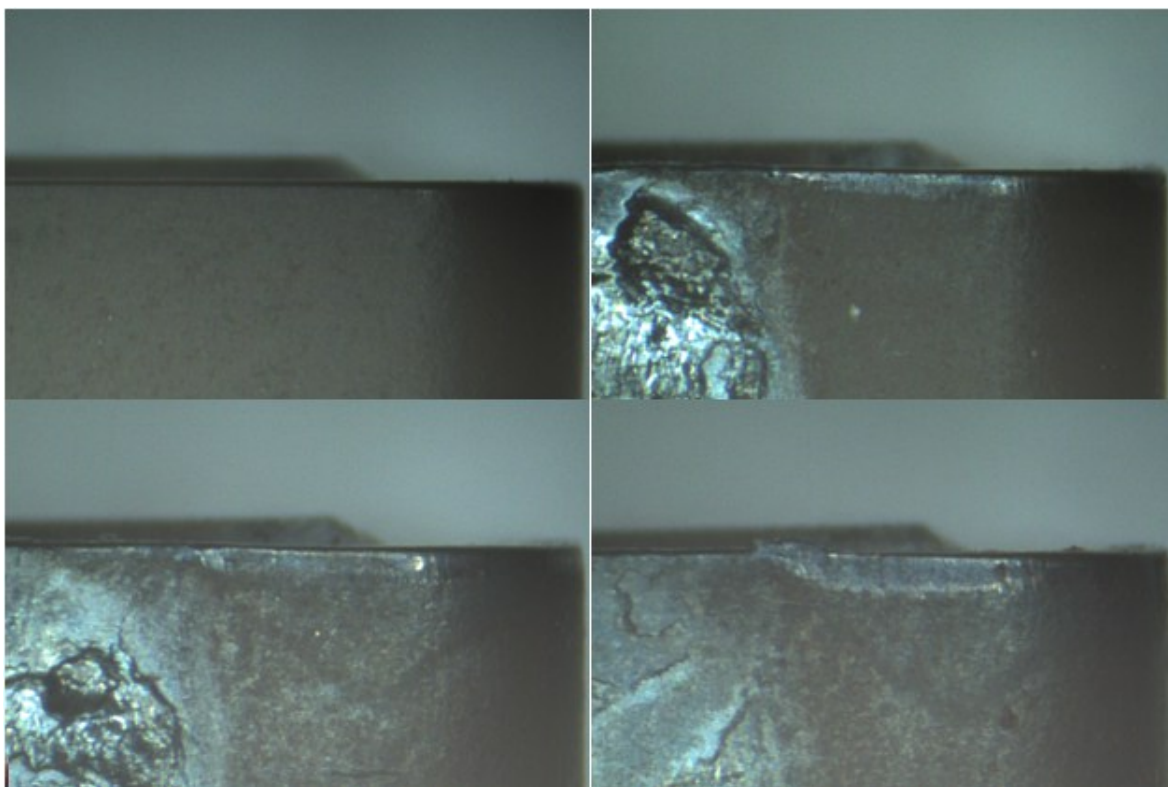


Obr. 81 Snímky opotřebení čela

Při pohledu na snímky, kde je znázorněno opotřebení čela, lze vidět postupně rostoucí opotřebení, které vzniká vlivem řezného procesu. Na prvním snímku je vyfocena vyměnitelná břitová destička typu A1 před zahájením testování. Po prvních pěti minutách testování je vidět pouze malé opotřebení čela. Na třetí fotce je znázorněno opotřebení po deseti minutách záběru. Je zřetelné, že se opotřebení rozšířilo, ale není zde žádná známka vzniku jiného typu opotřebení. To neplatí u čtvrtého obrázku, kde byla destička vystavena

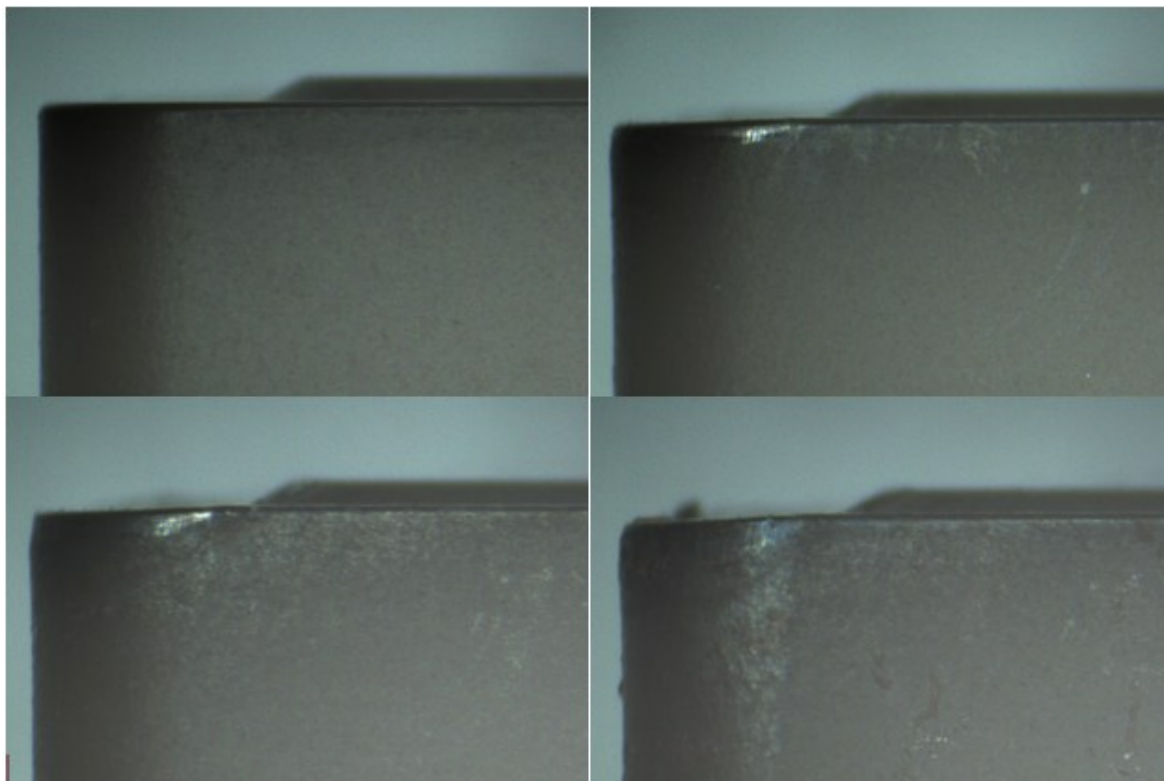
třináct minut záběru. Opotřebení se rozšířilo, ale jelikož se jedná o opotřebení čela, nemá výrazný vliv na trvanlivost destičky.

To ovšem neplatí o opotřebení hlavního hřbetu. Tento druh opotřebení je považován za ideální a nevyhnutelný. Příliš velké opotřebení hřbetu mění geometrii břitu a tím narůstá tření.



Obr. 82 Snímky opotřebení hlavního hřbetu

Po prvních pěti minutách, kdy byla destička vystavena řeznému procesu, narostlo opotřebení hřbetu jen nepatrně. Jedná se o standardní druh opotřebení. Jeho hodnota nepatrně vzrostla i po deseti minutách. Pouze po uplynutí třinácti minut záběru, lze spatřit tendenci ke vzniku nárůstku. Tvorba nárůstku je nežádoucí jevem a vzniká vlivem teplot a řezných rychlostí. Má nežádoucí vliv na geometrii břitu. Jelikož po třinácti minutách dosáhla velikost opotřebení hlavního hřbetu stanoveného kritéria, nemá tvorba nárůstku žádný vliv.



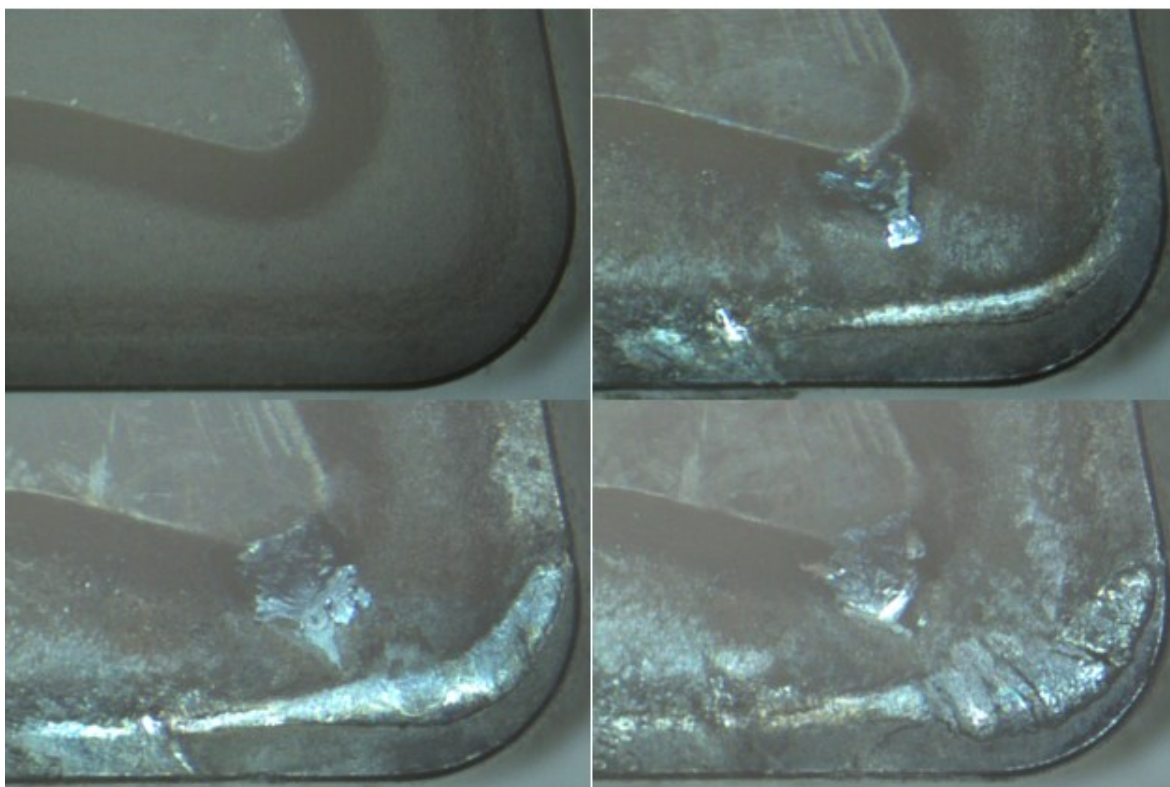
Obr. 83 Snímky opotřebení vedlejšího hřbetu

Při pohledu na snímky opotřebení vedlejšího ostří je patrné, že po třinácti minutách v záběru na destičce vzniká opotřebení ve formě plastické deformace. Ta vzniká vlivem vysokých teplot a řezných tlaků. Velká plastická deformace má značný vliv na odchod třísky. Toto opotřebení lze zmenšit použitím správné geometrie zaoblení ostří a volbou správné geometrie břitu.

Tento typ vyměnitelné břitové destičky nevykazuje příliš vysoké opotřebení ani po třinácti minutách v řezném procesu. Lze tedy předpokládat, že dosud zvolená geometrie je vyhovující.

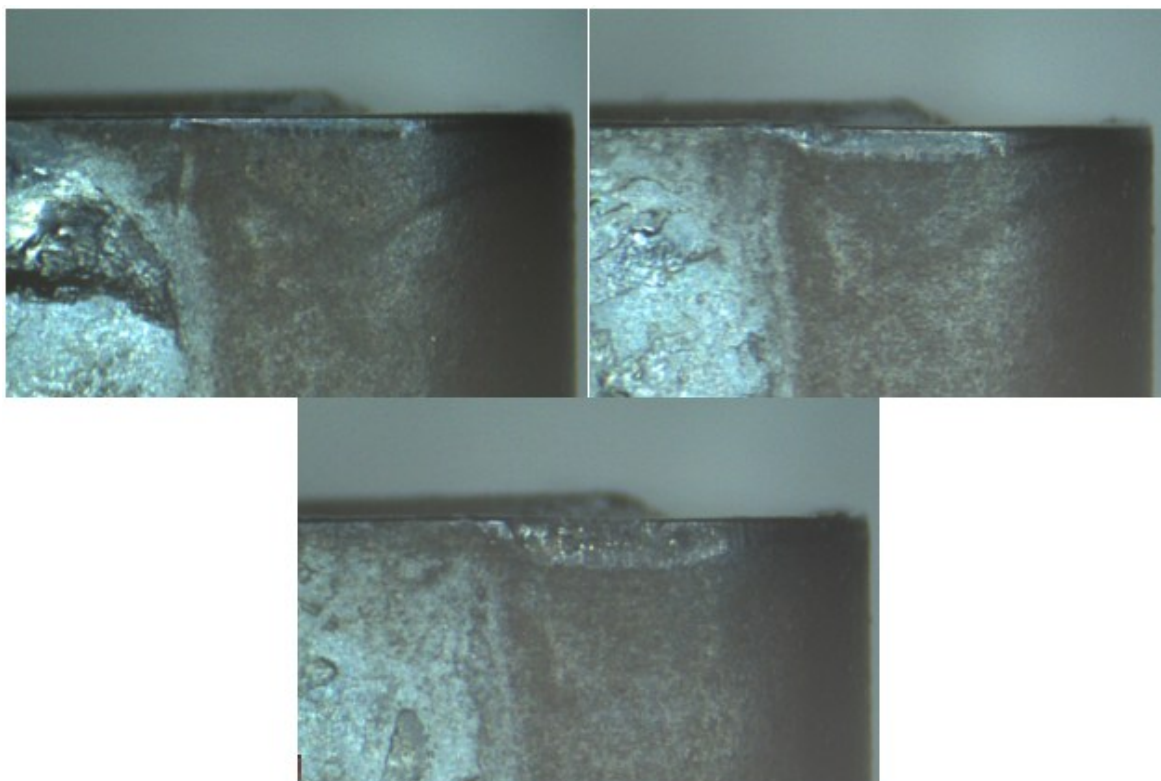
4.7.2 VBD CNMG 120412E-KR-P01

Tento typ destičky byl zvolen na základě destičky standardní, tedy typ A1. Jedná se o destičku s koeficientem $K = 1,3$. Tento koeficient znázorňuje malé smetení z čela.



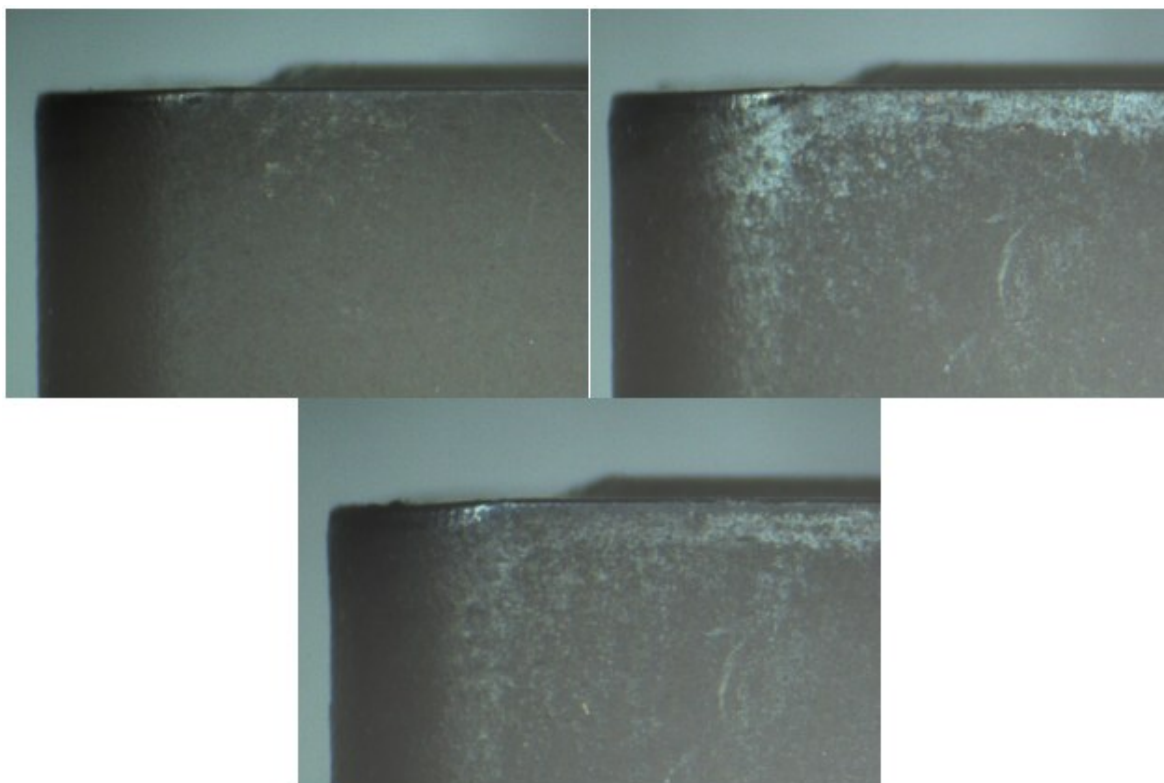
Obr. 84 Snímky opotřebení čela

Při soustružení vyměnitelnou břitovou destičkou typu B1 a B2 nedošlo po pěti minutách v procesu k výraznému opotřebení čela. To platí i u snímku pořízeným po deseti minutách v řzném procesu. Opotřebení sice vzrostlo, ale nemá významný vliv na trvanlivost nástroje ani kvalitu plochy obrobku. Ovšem u opotřebení, které vzniklo po třinácti minutách, je mimo opotřebení hřbetu zřetelné i vznik opotřebení ve formě křehkého porušování řzné hrany. Toto opotřebení se vyskytuje s kombinací jiného opotřebení, v našem případě opotřebení hřbetu břitu. Příčina vzniku křehkého porušení řzné hrany je zejména nízká tuhost soustavy. Jelikož se jedná o opotřebení na čele, nemá značný vliv na trvanlivost nástroje.



Obr. 85 Snímky opotřebení hlavního hřbetu

Po stoupající době v procesu řezání roste i velikost opotřebení. Tento jev lze vidět na snímcích destičky typu B1, kdy po prvních pěti minutách bylo opotřebení znatelné, ale nemělo značný vliv na trvanlivost nástroje, ani na kvalitu povrchu obrobku. Po deseti minutách se velikost opotřebení zvýšila. K překročení stanovené hranice opotřebení došlo až po třinácti minutách v řezu. Tato hranice ovšem nebyla překročena výrazným rozdílem, a proto se dá výsledek srovnat s destičkami typu A1 a A2.



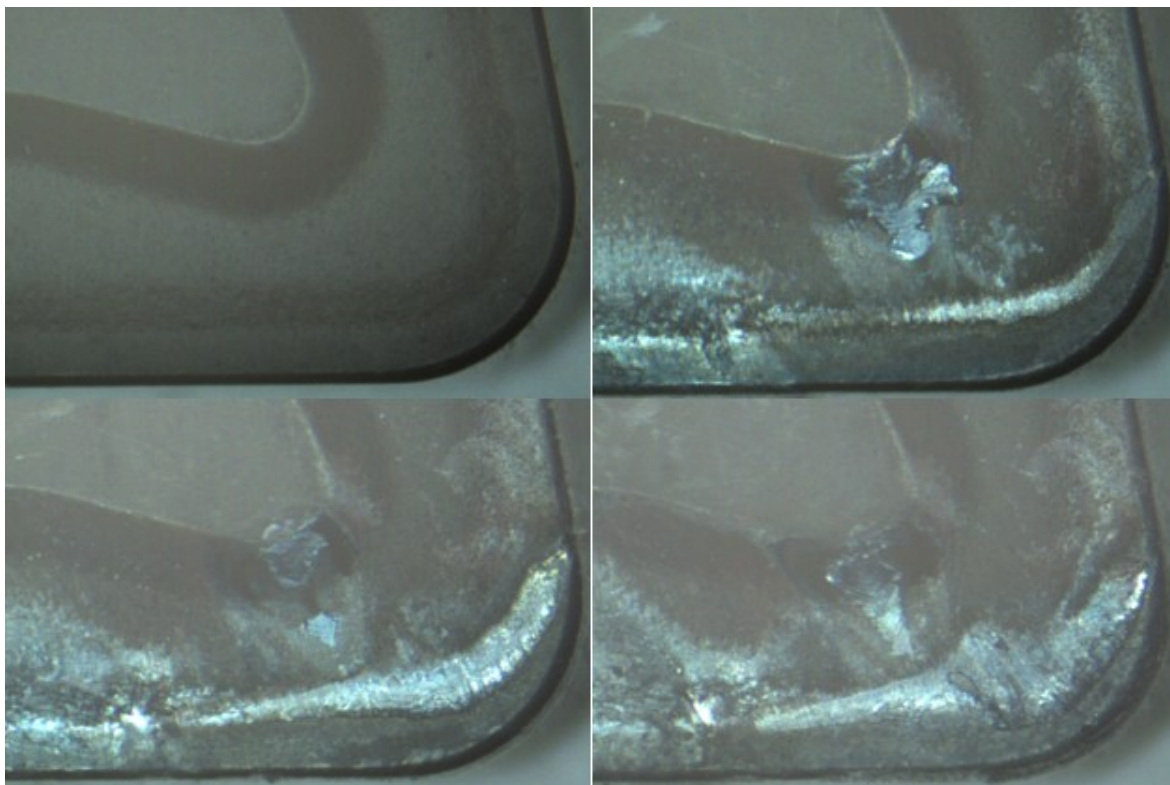
Obr. 86 Snímky opotřebení vedlejšího hřbetu

Opotřebení na vedlejším hřbetu není příliš velké, odpovídá tedy standardní míře opotřebení a ve srovnání s destičkou typu A1 je poměrně totožné. Po třinácti minutách v procesu lze zaznamenat mírné vznikání plastické deformace. Tento jev lze vyčíst i z tabulky, kdy se díky vzniku plastické deformace zmenšila drsnost povrchu obrobeného materiálu.

Vyměnitelná břitová destička typu CNMG 120412E-KR-P01 má podobné hodnoty opotřebení jako destička typu CNMG 120412E-KR. Lze tedy říct, že geometrie destiček B1 a B2 mají rovněž dobrou trvanlivost a jsou tedy také vyhovující.

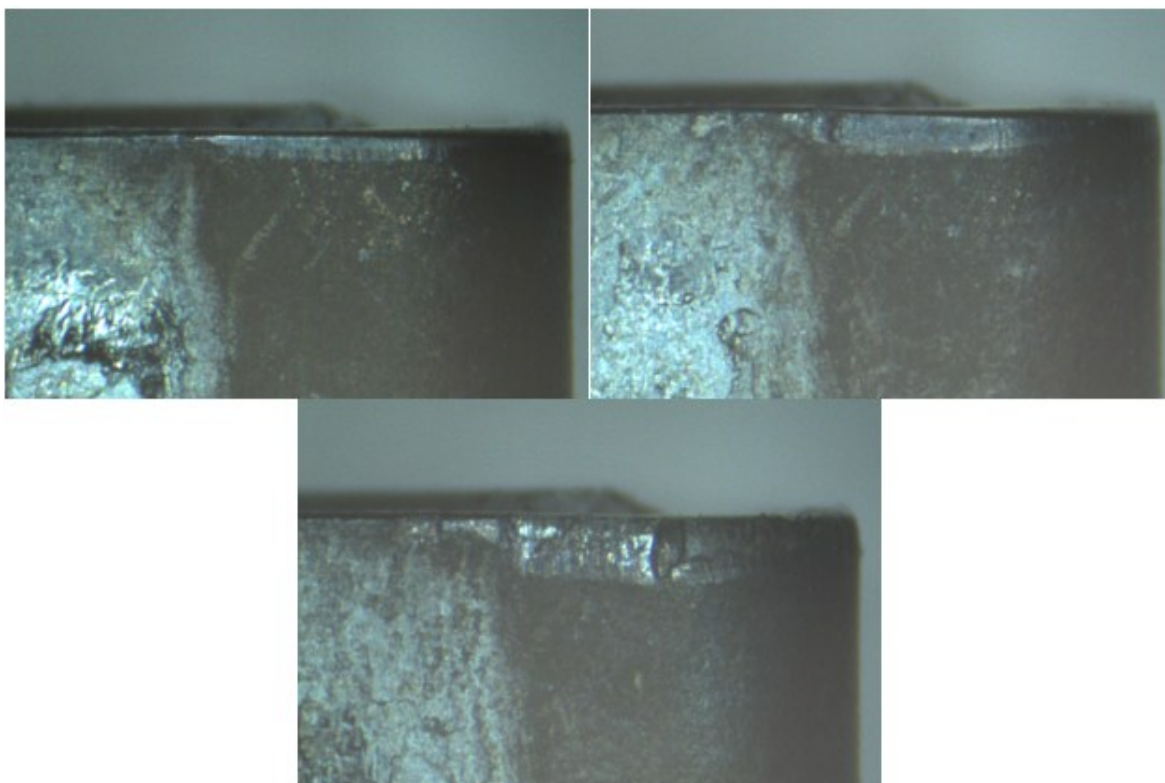
4.7.3 VBD CNMG 120412E-KR-P02

Tato destička disponovala koeficientem $K = 1,6$. Jedná se tedy o destičku, která má větší smetení z čela.



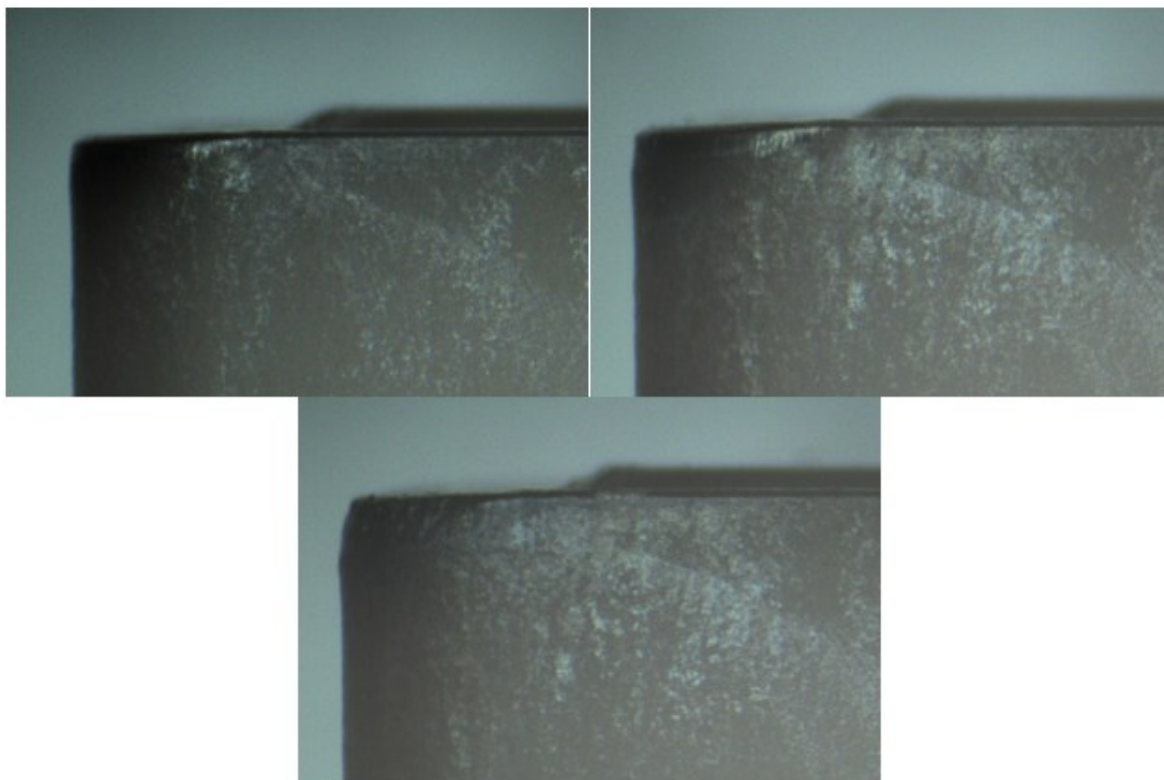
Obr. 87 Snímky opotřebení čela

Snímky znázorňují opotřebení čela. Po prvních pěti minutách v procesu řezu je velikost opotřebení nepatrná. Není teda závratný rozdíl mezi ostatními destičkami. Větší opotřebení nastává po deseti minutách, kdy je jeho velikost více než dvojnásobná než po pěti minutách. Toto jde dokázat i při pohledu na tabulku s naměřenými hodnotami. Největší míra opotřebení byla dosažena po třinácti minutách v záběru. Při pohledu na snímek lze říct, že mimo standardního opotřebení dochází i k opotřebení ve formě výmolu, který částečně vzniká úběrem řezného nástrojového materiálu, vyvolaným brousícím pochodem, díky tvrdým částicím v materiálu obrobku. Vzniká v místě břitu s nejvyšší teplotou, tedy v místě kontaktu třísky a materiálu břitu. Dle snímku lze vidět, že dochází k rychlejšímu přibližování výmolu k vedlejšímu ostří, nikde se však výmol neprolomil přes řeznou hranu před koncem trvanlivosti. Tomuto typu opotřebení lze zabránit zvolením vhodnější geometrii břitu, použitím otěruvzdornějšího materiálu s povlakem.



Obr. 88 Snímky opotřebení hlavního hřbetu

Při pohledu na opotřebení hřbetu bříty na hlavním hřbetě je patrné, že mírné opotřebení nastalo už po pěti minutách. Tento jev je nevyhnutelný a tedy zanedbatelný, navíc jsme ho mohli pozorovat u předchozích destiček. Ve srovnání s nimi není vidět patrnější rozdíl, tudíž není vhodné prozatím docházet k jakémukoliv závěru. Že jsou hodnoty opotřebení podobné s předchozími destičkami lze vidět při srovnání tabulek naměřených hodnot. Většího opotřebení se dostalo ani po deseti minutách, kdy byla destička vystavena řeznému procesu. Ovšem po třinácti minutách lze jisté změny rozeznat. Velikost opotřebení značně překročila stanovené kritérium. Tímto se výrazně liší od předchozích typů vyměnitelných břitových destiček. Mimo opotřebení hřbetu je vidět i začínající vrubové opotřebení, které vzniká v oblasti styku bříty s povrchem obrobku. Příčina vzniku tohoto typu opotřebení je převážně zpevnění povrchových vrstev obrobku a otřepy. Tomuto opotřebení lze zabránit například menším úhlem nastavení hlavního ostří.



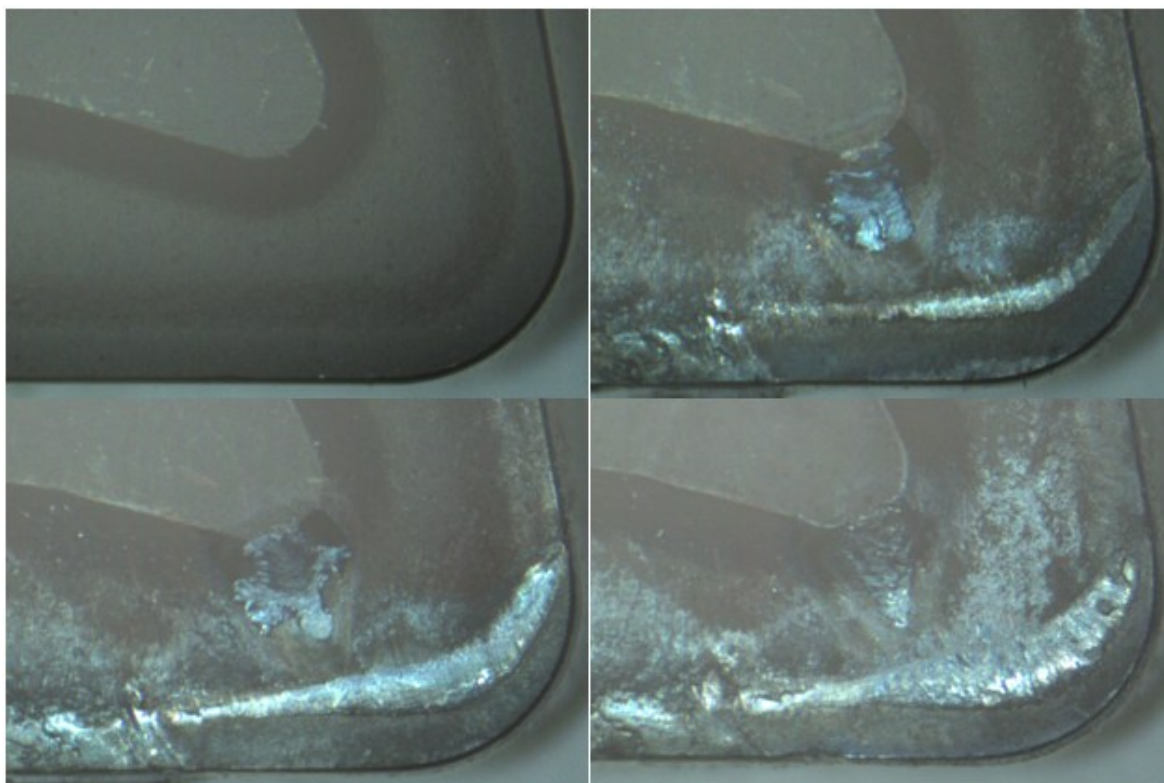
Obr. 89 Snímky opotřebení vedlejšího hřbetu

S rostoucím opotřebením hřbetu je vidět i vznik plastické deformace. Tento typ opotřebení vzniká díky vysokým řezným rychlostem. Vzniku plastické deformace lze zabránit zvětšením poloměru zaoblení špičky nebo větším úhlem špičky. V našem případě se nejedná o závratnou velikost plastické deformace.

Výsledky destiček CNMG 120412E-KR-P02 prokázaly, že tento typ geometrie má značný vliv na velikost opotřebení a tudíž i na trvanlivost. Velikost opotřebení se přiblížilo hodnotě stanoveného kritéria už po deseti minutách v procesu řezání. To bylo potvrzeno i po třinácti minutách, kdy velikost opotřebení přesáhla kritérium téměř o 0,8 mm. Po porovnání s předchozími destičkami lze konstatovat, že tento typ geometrie, kdy se jedná o větší smetení z čela, je nevyhovující.

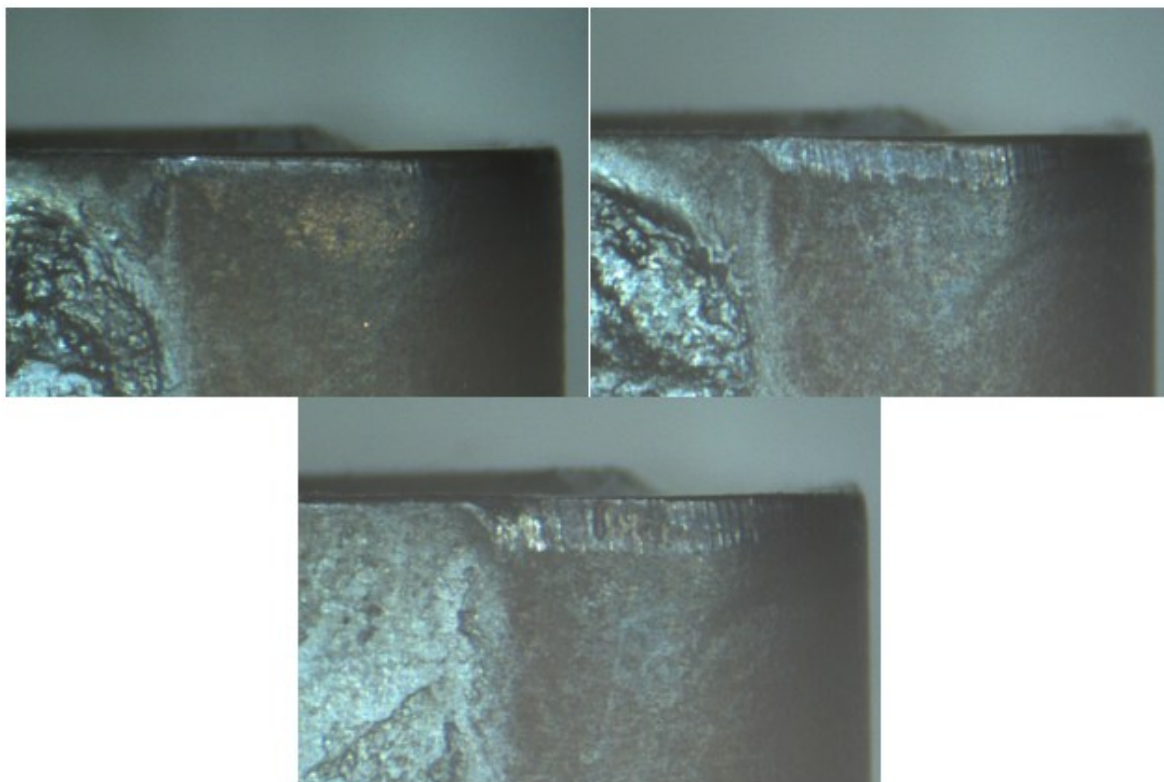
4.7.4 VBD CNMG 120412E-KR-P03

Vyměnitelné břitové destičky tohoto typu mají geometrii s koeficientem $K = 0,6$. Jedná se o geometrii s větším smetením, ale v tomhle případě je smetení ze hřbetu.



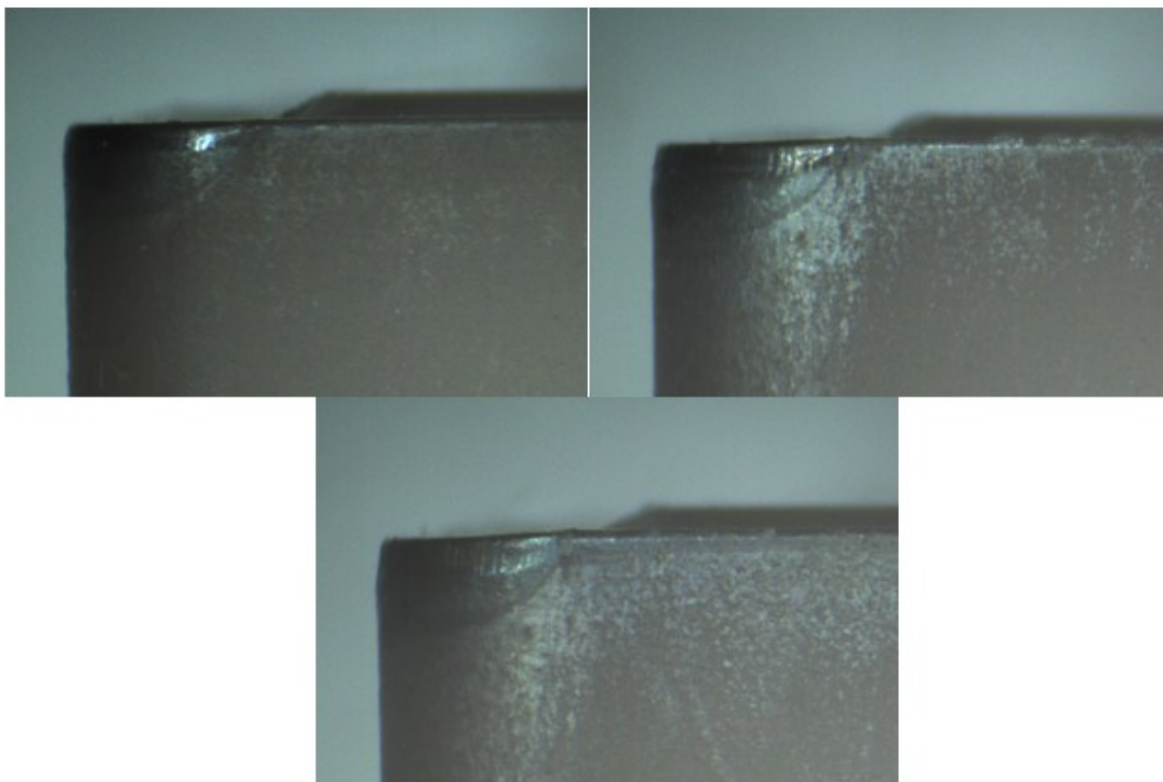
Obr. 90 Snímky opotřebení čela

Opotřebení na čele rostlo s navyšujícím se časem v procesu řezu. Po prvních pěti minutách nenastalo nijak zvláštní opotřebení. Jedná se pouze o obvyklý typ opotřebení. Stejný druh můžeme vidět i po deseti minutách, kdy se akorát jeho hodnota zvětšila. Při pohledu na snímek po třinácti minutách můžeme spatřit i začínající opotřebení ve tvaru vrubu na hlavním hřbetě břitu. Tento druh opotřebení vzniká v místě kontaktu břitu s bokem třísky. Také je opět vidět začínající výmol na čele. Dle snímku lze vidět, že se nikde výmol neprolomil přes řeznou hranu před koncem trvanlivosti.



Obr. 91 Snímky opotřebení hlavního hřbetu

Opotřebení hřbetu po pěti minutách je opět nepatrné a ve srovnání s předchozími destičkami totožné. To lze zpozorovat i z tabulek naměřených hodnot. Ovšem už po deseti minutách v záběru lze pozorovat zvýšené opotřebení, kdy jeho hodnota téměř přesahuje stanovené kritérium. Dokonce u destičky typu D2 toto kritérium bylo překročeno, a proto se destička vyřadila a nebyla dále vystavena procesu řezání. Snímek destičky typu D1, který byl pořízen po uplynutí třinácti minut řezného procesu, vykazuje značné opotřebení na hřbetě, což ukazuje fakt, že byla stanovená hodnota kritéria výrazně překročena. Mimo opotřebení hřbetu jsou na snímku patrné známky mikrovyštípování, tedy křehké porušování řezné hrany. Tomuto opotřebení lze zabránit použitím jiné geometrie bříty.



Obr. 92 Snímky opotřebení vedlejšího hřbetu

Z pohledu na vedlejší hřbet, lze vidět narůstající opotřebení hřbetu s rostoucím časem v záběru. Po prvních pěti minutách se opět opotřebení výrazně neliší od předchozích destiček. Po deseti minutách je vidět vznikající plastická deformace, mimo opotřebení hřbetu. Ta vzniká díky vysokým teplotám a vysokých řezných tlaků na břit. Tento jev lze prokázat i snižující se hodnotou drsnosti obrobenej plochy, která je znázorněna v tabulce naměřených hodnot. Plastickou deformaci potvrzuje snímek, který byl pořízen po třinácti minutách řezného procesu, dále i výrazné snížení drsnosti povrchu.

Destičky typu CNMG120412E-KR-P03 disponuje geometrií, kdy se jedná o větší smetení ze hřbetu. Dle výsledných snímků je patrné, že tento typ geometrie má negativní vliv na velikost opotřebení a tudíž i na dobu trvanlivost nástroje. Tento fakt dokazuje zejména destička D2, která překročila stanovenou hranici dovoleného kritéria opotřebení už po uplynutí deseti minut v procesu řezání. Ve srovnání s předchozími destičkami dosáhl tento typ největšího opotřebení a také nejkratší trvanlivosti. Lze tedy usoudit, že tato geometrie je nevyhovující.

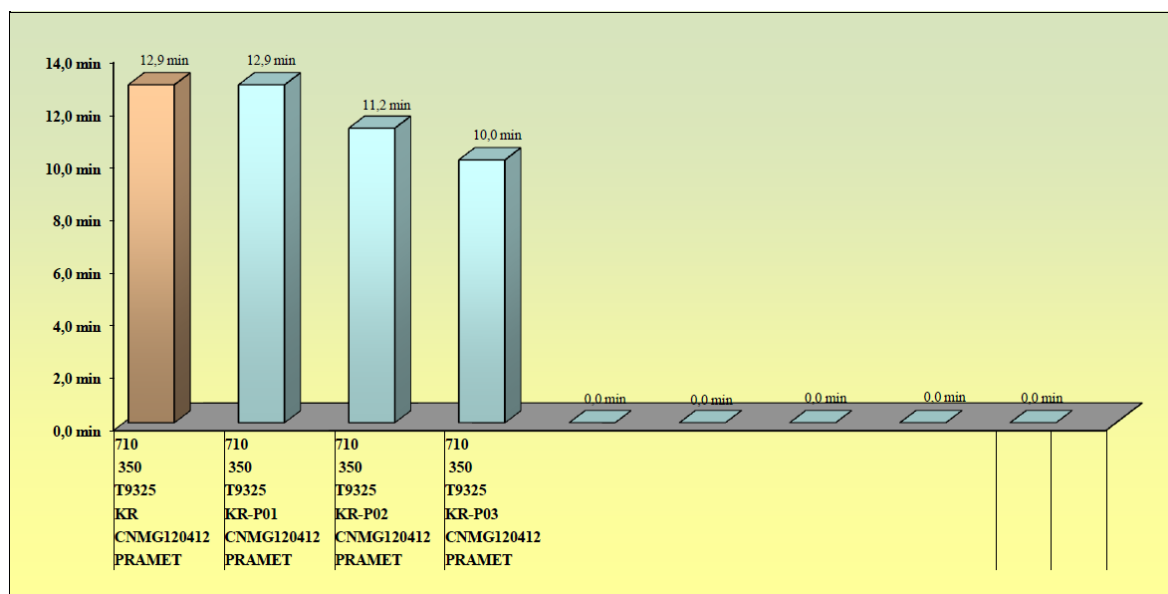
5 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

Po dokončení experimentu, kdy se testoval vliv geometrie břitu na trvanlivost vyměnitelné břitové destičky je nutné výsledky zhodnotit a vytvořit z nich určitý závěr. K testování byly k dispozici čtyři typy vyměnitelných břitových destiček, kdy každý typ disponoval jinou geometrií, konkrétně jiné zaoblení řezné hrany. Každá destička byla vystavena procesu řezání po dobu pěti, deseti a třinácti minut. Po každé uplynuté době v záběru proběhlo měření, kdy se měřila velikost opotřebení na hlavním hřbetě a ve špičce, dále také drsnost povrchu. Tyto výsledky byly následně vyneseny do grafů.

V příloze PIV jsou znázorněny výsledné hodnoty experimentu. Lze zpozorovat, že destičky typu CNMG120412E-KR a CNMG120412E-KR-P01 dosáhly stejné trvanlivosti, tedy 12,9 min s řezivostí 100% a rozptylem pouze 0,40%. Destička typu CNMG120412E-KR-P02 dosáhla trvanlivosti 11,2 min s řezivostí 87%, což je o 13% méně než u destiček typu A (KR) a typu B (KR-P01). Nejhorších výsledků dosáhla vyměnitelná břitová destička typu CNMG120412E-KR-P03, kdy její trvanlivost byla pouze 10,0 min, řezivost pouze 78%, tedy o 22% méně než u destiček typu A (KR) a typu B (KR-P01).

Tabulka výsledných hodnot byla převedena do grafu, kde je nejprve zobrazeno trvanlivost, poté řezivost a nakonec do grafu, kde je znázorněn průběh opotřebení.

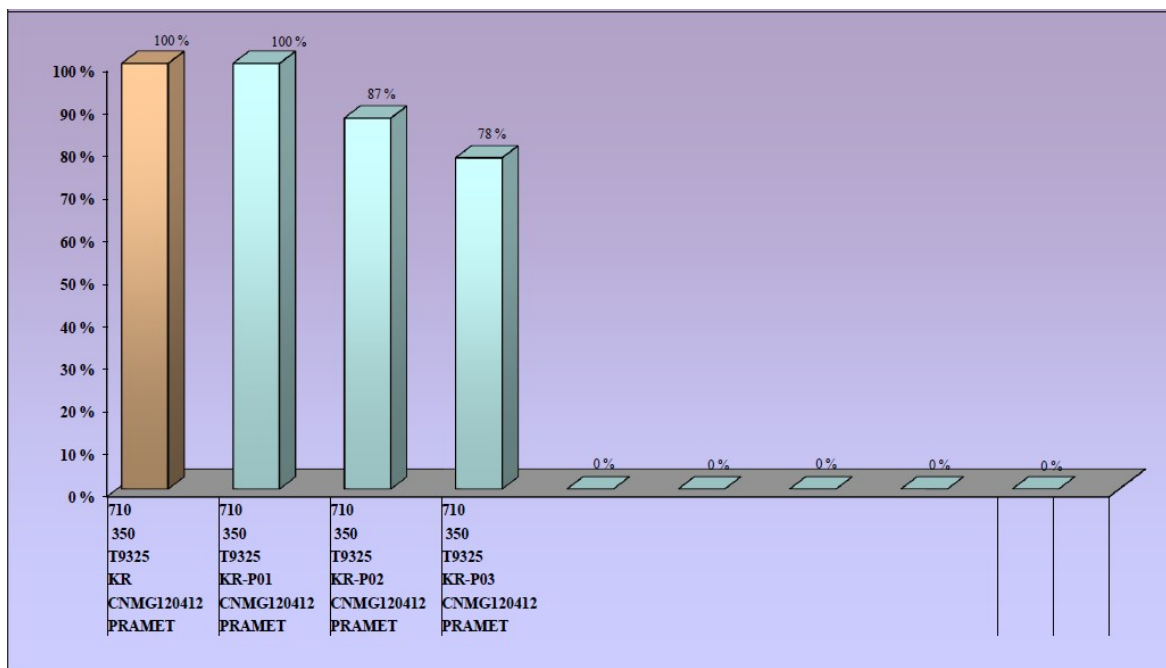
V grafu je znázorněna trvanlivost jednotlivých typů vyměnitelných břitových destiček. Na ose X je vždy popsán typ destičky, kdy se mezi dvěma stejnými typy vytvořil průměr vyhodnocené trvanlivosti. Na ose Y jsou poté znázorněny jednotlivé časy, dosažené trvanlivosti vyměnitelné břitové destičky.



Obr. 93 Graf trvanlivosti

Při rozboru grafu je zřetelné, že destička typu A dosáhla trvanlivosti téměř třinácti minut. Stejnou trvanlivost lze spatřit i u destičky typu B, která dosáhla rovněž 12,9 min. Značný pokles trvanlivosti lze zaznamenat u destičky typu C, kdy její doba činí 11,2 min. Jednoznačně nejkratší trvanlivost má vyměnitelná břitová destička typu D, kdy její doba je přesně 10,0 min. Z výsledného grafu lze usoudit, že geometrie typu A s koeficientem $K = 1$, která se používá doposud, má největší trvanlivost. Ovšem destička typu B, s geometrií, kdy se jedná o malé smetení z čela, tedy s koeficientem $K = 1,3$ dosáhla stejných výsledků trvanlivosti. Díky tomuto výsledku lze konstatovat, že oba typy geometrií jsou vyhovující. Při pohledu na destičku typu C je vidět, že její doba trvanlivosti se oproti předchozím typům podstatně snížila. Důvodem snížení trvanlivosti je rozhodně nepříznivá geometrie břitu, kdy se jednalo o velké smetení z čela. Je tedy jasné, že tento typ má značný vliv na trvanlivost destičky. Nejhoršího výsledku ovšem dosáhla destička typu D, kdy doba její trvanlivosti byla pouhých 10,0 min. Je tedy jasné, že tento typ geometrie, kdy se jedná o velké smetení ze hřbetu, má velmi značný vliv na trvanlivost břitu a je tedy nevhodná.

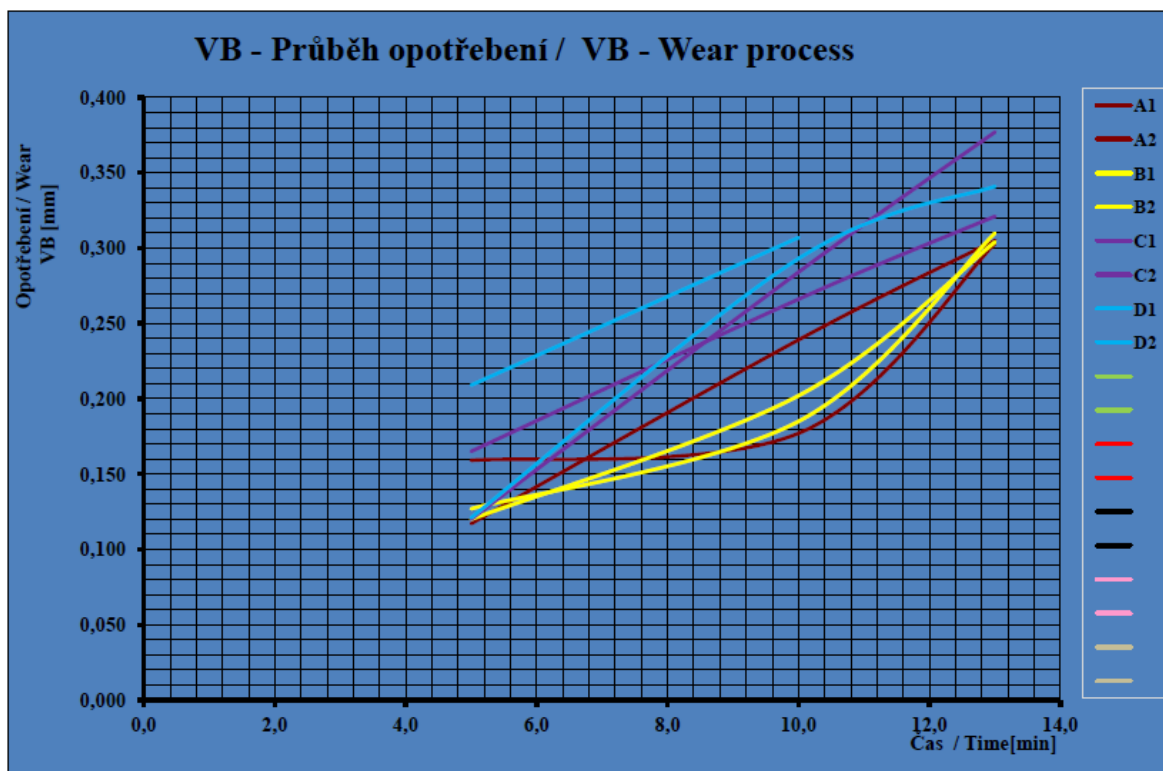
V grafu je znázorněna procentuální řezivost jednotlivého typu vyměnitelné břitové destičky. Na ose X jsou uvedeny typy destiček, které byly testovány. Na ose Y je znázorněna řezivost destičky v procentech.



Obr. 94 Graf řezivosti

Při pohledu na graf, který znázorňuje řezivost jednotlivých typů vyměnitelných břitových destiček, lze vyvodit určitý závěr. Stejných výsledků v řezivosti opět dosáhly první dvě destičky, konkrétně typu A (KR) a B (KR-P01). Jejich řezivost dosáhla téměř po třinácti minutách 100%. Destička je tedy schopná po dobu třinácti minut efektivně obrábět se 100% řezivostí. U destičky typu C (KR-P02) se řezivost snížila o 13% oproti destičkám A a B. Lze tedy říct, že destička lze efektivně obrábět pouze 11,2 min. Po uplynutí této doby není destička schopna dál obrábět, díky překročení stanoveného kritéria opotřebení hlavního hřbetu, a proto má řezivost pouhých 87%. Nejhorší řezivost byla dosažena u destičky typu D. Tato destička je schopna efektivně obrábět pouhých 10,0 min., poté byla překročena hranice opotřebení. Tudíž její řezivost dosahuje pouze 78%.

V dalším grafu je pomocí křivek, které byly vyneseny z tabulky výsledných hodnot, znázorněn průběh opotřebení, které vznikalo během řezného procesu. Na ose X je čas, po který byla každá z destiček vystavena řeznému procesu. Na ose Y je znázorněna hodnota opotřebení hlavního hřbetu. Každá křivka představuje jednotlivé vyměnitelné břitové destičky, které byly použity v experimentu.



Obr. 95 Graf průběhu opotřebení

Při pohledu na tento graf lze spatřit průběh zvětšujícího se opotřebení vlivem vystavení destičky řeznému procesu. Na ose X je znázorněn čas, kdy byla vyměnitelná destička vystavena řeznému procesu. Na ose Y je velikost opotřebení, kterého dosáhla každá destička na hlavním hřbetě. Jednotlivé křivky jsou přiřazeny jednotlivým typům destičky. Ideálním výsledkem jednotlivé destičky by se dalo uvažovat co nejmenší opotřebení v so nejdélším čase v procesu. Tento výsledek vykazují destičky typu A a typu B. Destičky A a B si jsou celkem podobné, kdy je jejich výchozí i konečná velikost opotřebení poměrně stejná. U destiček C je průběh poněkud rozdílný. Velikost opotřebení destičky C1 začíná přibližně na stejné úrovni jako předchozí destičky, ale po uplynutí třinácti minut končí výrazně nad hranicí povoleného kritéria. Při pohledu na destičku typu C2 je zřetelné, že velikost jejího opotřebení po pěti minutách v řezu začíná výš než předchozí destičky, ale oproti například C2 končí poměrně blíž destiček A i B, tudíž opotřebení po třinácti minutách v záběru nepřekročilo výrazně stanovené kritérium. Největší rozdíly jsou patrné u destiček typu D, kdy velikost opotřebení destičky D1 je po pěti minutách srovnatelná s předchozími destičkami, ovšem s rostoucím časem v záběru, roste výrazně i míra opotřebení. Ta se po třinácti minutách zastaví vysoce za hranicí dovoleného kritéria. Nejhorší výsledky vykazuje destička D2, u které se už po pěti minutách naměřila vysoká hodnota opotřebení a dovo-

lené kritérium překročila už po deseti minutách. Tudíž nebyla dále schopna obrábění a z testování byla nadále vyřazena.

5.1 Ekonomické zhodnocení

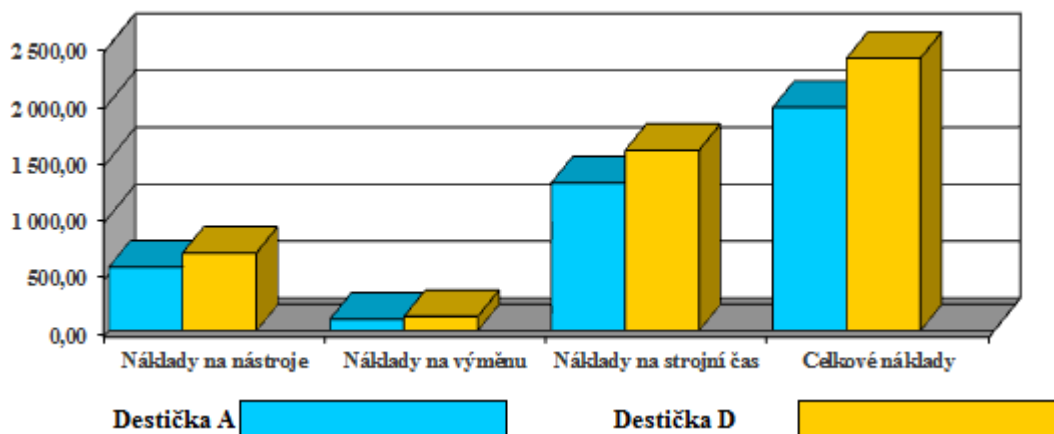
Po porovnání výsledků, ke kterým se dospělo díky experimentu, je nutné vytvořit ekonomické zhodnocení. To slouží k porovnání nákladů na nástroj, nákladů na výměnu, nákladů na strojní čas. Všechny ceny byly použity pouze přibližně a na základě odhadů, nikoliv podle přesného ceníku firmy Pramet Tools. Nelze se tedy podle provedených výpočtů zcela řídit. Pro výpočty nákladů byl použit program Excel, kde byl vytvořen přesný formulář odbornými pracovníky firmy Pramet Tools. Pro představu byly srovnány pouze dva typy destiček. Konkrétně se jednalo o destičku typu A, u které vyšla trvanlivost nejvyšší a destička typu D, u které naopak vyšla trvanlivost nejnižší.

Hodinová sazba stroje	800,00	Kč/hod	Velikost dávky	10 000	ks
Trvanlivost břitu [min]	13,0	min		10,0	min
Trvanlivost [ks]	0,1	ks		0,1	ks
Strojní čas na obrobek	100,0	min/ks		100,0	min/ks
Nástroj	DCLNL2525M12			DCLNL2525M12	
Cena nástroje	2 000,00	Kč		2 000,00	Kč
Počet VBD v nástroji	1	ks		1	ks
VBD	CNMG 120412E-KR			CNMG 120412E-KR-P03	
Materiál VBD	T9325			T9325	
Cena VBD	210,00	Kč		210,00	Kč
Počet řezných hran	3	ks		3	ks
Náklady na nástroje C_N	560,00	Kč/ks		683,20	Kč/ks
Náklady na výměnu C_V	102,00	Kč/ks		124,40	Kč/ks
Náklady na strojní čas C_M	1 300,00	Kč/ks		1 586,00	Kč/ks
Celkové náklady C	1 962,00	Kč/ks		2 393,60	Kč/ks
ÚSPORA		431,60	Kč/ks		
		4 316 000,00	Kč/dávka		

Obr. 96 Náklady na obrábění

Výpočet nákladů na obrábění byla určena velikost dávky 10 000 ks vyměnitelných břitových destiček. Tato hodnota byla zvolena z důvodu, aby byly rozdíly patrnější. Hodinová sazba byla zvolena 800,00 Kč/hod. Tato hodnota byla stanovena odborným pracovníkem. Dále byla určena pracovníkem i cena nástroje, která byla stanovena 2 000,00 Kč a cena vyměnitelné břitové destičky, ta činila 210,00 Kč. Náklady na nástroje u destičky A byly $C_N = 560,00$ Kč, náklady na výměnu $C_V = 102,00$ Kč a náklady na strojní čas $C_M = 1300,00$ Kč. Celkové náklady tedy vyšly $C = 1962,00$ Kč. Jelikož vyměnitelné břitová des-

tička typu D měla o 22% nižší trvanlivost, byly náklady o tuto procentuální hodnotu vyšší. Tedy náklady na nástroje činily $C_N = 683,20$ Kč, náklady na výměnu $C_V = 124,40$ Kč a náklady na strojní čas $C_M = 1586,00$ Kč. Celkové náklady vyšly $C = 2393,60$ Kč. Při srovnání těchto výsledných hodnot lze konstatovat, že se náklady liší o 431,60 Kč na jeden kus. Při jedné dávce, která činí 10 000 kusů vyměnitelných břitových destiček lze ušetřit přesně 4 316 000,00 Kč. Zmíněné výpočty je možné dokázat vynesemím do grafu.



Obr. 97 Graf nákladů na obrábění

Při pohledu na výsledný graf, který znázorňuje náklady na obrábění je vidět rozdíl mezi destičkou A a destičkou D. Na ose X jsou uvedeny jednotlivé druhy nákladů. Jedná se o náklady na nástroje, náklady na výměnu, náklady na strojní čas a o celkové náklady. Na ose Y jsou náklady v korunách.

Díky ekonomického zhodnocení lze dokázat rozdíl celkových nákladů mezi jednotlivými destičkami.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a ověřit pracovní geometrii břitu se zaměřením na její trvanlivost. K dispozici byly čtyři různé druhy zaoblení řezné hrany (standardní rádius, malé smetení z čela, velké smetení z čela a velké smetení ze hřbetu). Opotřebení destičky se měřilo na hlavním hřbetě a na špičce a to vždy po pěti, deseti a třinácti minutách v procesu řezání.

V úvodu práce je představení s firmou Pramet Tools, s.r.o., která má významnou pozici ve svém oboru na tuzemském území a zabývá se vývojem, výrobou a prodejem obráběcích nástrojů. V dalším kroku je podrobně popsána volba vyměnitelné břitové destičky. Nejprve upínací systém, dále velikost a typ držáku, tvar a velikost VBD, poloměr špičky a nakonec geometrii VBD. Následně se v práci zabývá materiály řezných nástrojů, kde jsou zmíněny jejich hlavní vlastnosti a rozdělení dle ISO. Dále je popsán slinutý karbid, jeho struktura, vlastnosti, metody povlakování a vlastnosti povlaků. Ve třetím bodě se věnuji opotřebení, jeho základními mechanismy, typy a metody měření. Dále také trvanlivost a životnost nástroje. V experimentální části je popsán rozdíl mezi novým a stávajícím materiálem. Poté jsem uvedl zkušební těleso, na kterém se prováděl experiment a následně použité nástroje (typ nožového držáku a vyměnitelné břitové destičky) a použité přístroje (soustruh na kterém se vykonával experiment a mikroskop na kterém se měřila velikost opotřebení). Podrobně je vysvětlen postup experimentu, kdy byly destičky postupně vystaveny procesu řezání, a to nejprve pět minut, poté deset minut a nakonec třináct minut. Po každém uplynutí této doby záběru se měřila velikost opotřebení na hlavním hřbetě a na špičce a drsnost obrobené plochy. Výsledné hodnoty byly uvedeny do tabulek. Následně jsem vyhodnotil a stručně popsal snímky opotřebení, které byly pořízeny po každém měření. V ekonomickém zhodnocení jsem nejprve uvedl tabulku získaných výsledků a poté vynesl hodnoty do grafu, který znázorňuje trvanlivost, řezivost a průběh opotřebení jednotlivých destiček. Nakonec je uveden příklad, který znázorňuje rozdílné náklady mezi jednotlivými destičkami.

Po zhodnocení experimentu se dospělo k závěru, že nejlepších výsledků dosáhly vyměnitelné břitové destičky CNMG 120412E-KR a CNMG 120412E-KR-P01 s koeficientem $K=1$ (přesný rádius) a $K=1,3$ (malé smetení z čela). VBD s $K=1,6$ (P02 – větší smetení z čela) měly trvanlivost o 13% nižší. VBD s $K=0,6$ (P0,3 – větší smetení ze hřbetu) měly nejnižší trvanlivost a to pouhých 78%.

Poznámky, ke kterým se dospělo po vyhodnocení experimentu:

- Pro statické vyhodnocení nebyl dostatečný počet zkoušek.
- Výsledky jsou z průměrných hodnot, ne vždy byly stejné.
- Výsledky jsou pouze z materiálu obrobku 12050.9, na jiných materiálech mohou být výsledky jiné.
- Hrubovací utvařecí KR byl vybrán pro nejjednodušší nastavení geometrie zaoblení řezné hrany, při dokončovacích operacích by mohly být rozdíly větší.

Doporučení:

- Zaoblovat VBD buď s rádiusem, nebo s menším smetením z čela.
- Nezaoblovat s velkým smetením z čela, zejména v oblasti špičky, ani se smetením ze hřbetu
- Provést doplňující zkoušky na dokončovací destičce s dokončovacími řeznými podmínkami na obrocích s různým materiálem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Internetové stránky firmy Pramet Tools s.r.o. dostupné na:
<<http://www.pramet.com/cz/o-spolecnosti.html>>
- [2] PRAMET TOOLS, s.r.o. *Představení společnosti*: Katalog. Šumperk: Pramet Tools, s.r.o., 2012. 15 s.
- [3] PRAMET TOOLS, s.r.o. *Soustružení Katalog 2012*. Šumperk: Pramet Tools, s.r.o., 2012. 340 s.
- [4] PRAMET TOOLS, s.r.o. *Nové soustružnické materiály řady T9300 s MT -CVD povlakem*: Katalog. Šumperk: Pramet Tools, s.r.o., 2013.
- [5] PRAMET TOOLS, s.r.o. *Příručka obrábění*: Katalog. Šumperk: Pramet Tools, s.r.o., 2012. 100 s.
- [6] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [7] FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [8] BRYCHTA, Josef, et al. *Technologie II : I.díl*. první. Ostrava : Ediční středisko VŠB-TL, 2007. 126 s. ISBN 278-80-248-1641-8.
- [9] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kundela. 1. Vyd. Praha: Scientia s.r.o. 1997. 857s. Přel. z: Metal cutting - A practical handbook. ISBN 91-972299-4-6
- [10] SCHMIDT, Eduard a kol. *Příručka řezných nástrojů*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1974. 580 s.
- [11] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. Část – Nástrojové materiály*. Žilina : Metia/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-9689-2-7
- [12] ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: CERM, 2003, 193 s. ISBN 80-214-2336-6
- [13] BRYCHTA, Josef. *Technologie II*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007-2008, 2 sv. ISBN 978-80-248-1822-12.

- [14] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006, 86 s. ISBN 978-80-248-1209-0..
- [15] ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka*, 11. Vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959. 1872 s.
- [16] BRYCHTA, Josef a Jana PETRŮ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [17] ČEP, Robert a Jana PETRŮ. *Experimentální metody v obrábění*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2533-5.
- [18] *MM Průmyslové spektrum*. Praha: SEND Předplatné s.r.o. ISSN 1212-2572.
- [19] Internetové stránky firmy KOVOSVIT MAS, a.s. dostupné na:
<http://www.zakoturcin.cz/download/download/cs42_80.pdf>
- [20] Internetové stránky SMTinspection.com dostupné na:
<<http://www.smtinspection.com/Vision-SX45-Trinocular-Stereo-Microscope-Bench-Stand.html>>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Pramet Tools, s.r.o. [1]	10
Obr. 2 Historický snímek firmy Pramet Tools [2].....	10
Obr. 3 Síť poboček firmy Pramet Tools, s.r.o. [2].....	11
Obr. 4 Sortiment firmy [2].....	12
Obr. 5 Typy VBD [3].....	12
Obr. 6 Soustružnický nůž [4]	13
Obr. 7 Fréza s VBD [2].....	13
Obr. 8 Vrtáky s VBD [5]	14
Obr. 9 Tvarové soustružnické nože a)prizmatické, b)kotoučové, c)tangenciální [16]	15
Obr. 10 Upínací systém ISO P [5]	16
Obr. 11 Upínací systém ISO M [5].....	17
Obr. 12 Upínací systém ISO C [5].....	17
Obr. 13 Upínací systém ISO S [5]	17
Obr. 14 Upínací systém ISO X [5]	18
Obr. 15 Upínací systém ISO G [5]	18
Obr. 16 Dílčí operace obrábění [9]	18
Obr. 17 Příklady nejužívanějších úhlů špičky [5].....	19
Obr. 18 Monogram pro volbu rádiusu VBD [5]	21
Obr. 19 Úhly nástroje [3].....	25
Obr. 20 Utvařeč [5]	26
Obr. 21 Utvařeč [5]	26
Obr. 22 Utvařeč [5].....	27
Obr. 23 Historický vývoj řezných rychlostí [6].....	27
Obr. 24 Vliv mechanických vlastností na pracovní podmínky [6]	28
Obr. 25 Závislost tvrdosti nástrojových materiálů na teplotě [6]	28
Obr. 26 Vlastnosti nástrojových materiálů [6].....	29
Obr. 27 Řezné materiály [10]	30
Obr. 28 Materiálové skupiny [10].....	31
Obr. 29 Klasifikace ISO [10].....	31
Obr. 30 Slinutý karbid [10].....	32
Obr. 31 Struktura slinutého karbidu [6].....	33
Obr. 32 Povlak Widia TiN + (Ti, Hf)CN [18].....	34

Obr. 33 Povlak Widia TiN + TiCN+AL ₂ O ₃ /ZrO ₂ [18].....	35
Obr. 34 Povlak Widia TiN + TiCN+AL ₂ O ₃ +ZrCN [18].....	35
Obr. 35 Povlak Widia TiN + ZrO ₂ /ZrCN [18].....	35
Obr. 36 Povlak Widia TiN + (Zr, Ti)CN [18]	36
Obr. 37 Povlak Widia TiN + TiCN+AL ₂ O ₃ /ZrO ₂ /TiO [18].....	36
Obr. 38 Schéma vzniku PVD povlaku [6]	37
Obr. 39 Modely růstu vrstvy PVD povlaku [6]	37
Obr. 40 Porovnání povlaků s konvenčním a hladkým povrchem [6]	38
Obr. 41 Typické zóny opotřebení [9].....	40
Obr. 42 Hlavní mechanismy opotřebení bříty nástroje při obrábění kovů [9].....	40
Obr. 43 Klasifikace typů opotřebení břitů nástrojů [8].....	43
Obr. 44 Opotřebení hřbe-tu bříty [3]	43
Obr. 45 Opotřebení hřbetu bříty [3].....	43
Obr. 46 Opotřebení ve tvaru žlábků [3].....	44
Obr. 47 Opotřebení ve tvaru žlábků [3].....	44
Obr. 48 Plastická deformace bříty [3].....	44
Obr. 49 Plastická deformace bříty [3].....	44
Obr. 50 Vrub na hlavním hřbetě [3]	45
Obr. 51 Vrub na hlavním hřbetě [3]	45
Obr. 52 Hřebenovité trhlin na ostří [3]	45
Obr. 53 Hřebenovité trhlin na ostří [3]	45
Obr. 55 Únavový lom [3].....	45
Obr. 54 Únavový lom [3].....	45
Obr. 56 Vydrolování ostří [3]	46
Obr. 57 Vydrolování ostří [3]	46
Obr. 58 Lom Bříty [3].....	46
Obr. 59 Lom bříty [3]	46
Obr. 61 Nárůstek [3]	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 60 Nárůstek [3]	47
Obr. 62 Časová mapa opotřebení [8].....	47
Obr. 63 Typické průběhy opotřebení [8]	48
Obr. 64 VBD z materiálu T9325 [4].....	52
Obr. 65 Struktura materiálu T9325 [4]	52

Obr. 66 Oblast použití [4]	53
Obr. 67 Aplikační oblast [4]	53
Obr. 68 Závislost materiálu T9325 a 9230 na oceli [4]	54
Obr. 69 Řezné podmínky [4]	54
Obr. 70 Rozdílná trvanlivost mezi novým a stávajícím materiálem [4]	55
Obr. 71 Nožový držák PCLNL M12 KT 648	56
Obr. 72 NC soustruh MAS S80 [19]	57
Obr. 73 Drsnoměr HOMMEL-ETAMIC W5 [21]	57
Obr. 74 Dílenský mikroskop	58
Obr. 75 Stereomikroskop Vision SX45 [20]	58
Obr. 76 Snímek čela	59
Obr. 77 Snímek hlavního hřbetu	60
Obr. 78 Snímek vedlejšího hřbetu	60
Obr. 79 Formy opotřebení [7]	61
Obr. 80 Upínací přípravek k měření opotřebení	61
Obr. 81 Snímky opotřebení čela	65
Obr. 82 Snímky opotřebení hlavního hřbetu	66
Obr. 83 Snímky opotřebení vedlejšího hřbetu	67
Obr. 84 Snímky opotřebení čela	68
Obr. 85 Snímky opotřebení hlavního hřbetu	69
Obr. 86 Snímky opotřebení vedlejšího hřbetu	70
Obr. 87 Snímky opotřebení čela	71
Obr. 88 Snímky opotřebení hlavního hřbetu	72
Obr. 89 Snímky opotřebení vedlejšího hřbetu	73
Obr. 90 Snímky opotřebení čela	74
Obr. 91 Snímky opotřebení hlavního hřbetu	75
Obr. 92 Snímky opotřebení vedlejšího hřbetu	76
Obr. 93 Graf trvanlivosti	78
Obr. 94 Graf řezivosti	79
Obr. 95 Graf průběhu opotřebení	80
Obr. 96 Náklady na obrábění	81
Obr. 97 Graf nákladů na obrábění	82

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Úhel nastavení hlavního ostří, hloubka řezu a aktivní délka ostří [9]	20
Tab. 2 Maximální hodnoty zaoblení špičky s doporučenými rozsahy posuvů [9]	21
Tab. 3 Obecné porovnání vlastností základních povlakovaných materiálů [6]	39
Tab. 4 Chemické složení obrobku	55
Tab. 5 Koeficienty VBD	56
Tab. 6 Technická specifikace soustruhu	57
Tab. 7 Stanovené řezné podmínky	59
Tab. 8 Drsnost povrchu obrobku po 1. minutě záběru	60
Tab. 9 Naměřené hodnoty první sady po pěti minutách	62
Tab. 10 Naměřené hodnoty u druhé sady po pěti minutách	62
Tab. 11 Naměřené hodnoty první sady po deseti minutách	63
Tab. 12 Naměřené hodnoty druhé sady po deseti minutách	63
Tab. 13 Naměřené hodnoty první sady po třinácti minutách	64
Tab. 14 Naměřené hodnoty druhé sady po třinácti minutách	64

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Zaoblení řezné hrany s koeficientem 1

Příloha P II: Zaoblení řezné hrany s koeficientem 1,3

Příloha P III: Zaoblení řezné hrany s koeficientem 1,6

Příloha P IV: Zaoblení řezné hrany s koeficientem 0,6

Příloha P V: výkres VBD CNMG120412E-KR

Příloha P VI: Protokol naměřených hodnot

PODĚKOVÁNÍ

Na závěr bych chtěl poděkovat firmě Pramet Tools, s.r.o. za umožnění zpracování diplomové práce. Také bych chtěl rozhodně poděkovat Ing. Pavlu Krahulovi, který mi poskytl užitečné informace a cenné rady, které mi pomohly při zpracování diplomové práce. Dále děkuji vedoucímu diplomové práce panu prof. Dr. Ing. Josefovi Brychtovi za odborné vedení a poskytnuté konzultace.